



CAHIER DES CHARGES TYPE

QUALIROUTES

approuvé par le Gouvernement wallon en date du 20 juillet 2011

CHAPITRE F

SOUS-FONDATIONS ET FONDATIONS

Édition du 01/01/2023

TABLE DES MATIERES

	Pages
F. 1. TRAVAUX PRELIMINAIRES.....	1
F. 2. TRAVAUX PREALABLES	1
F. 2.1. POSE D'UNE GEOGRILLE OU D'UN GEOTEXTILE.....	1
F. 2.2. FOND DE COFFRE	2
F. 2.3. TRAITEMENT DU FOND DE COFFRE AU MOYEN D'UN ADDITIF	3
F. 2.4. REMPLACEMENT DE SOLS IMPROPRES A CONSTITUER LE FOND DE COFFRE	6
F. 3. SOUS-FONDTIONS	7
F. 3.1. DESCRIPTION.....	7
F. 3.2. CLAUSES TECHNIQUES.....	7
F. 3.3. MISE EN SERVICE.....	10
F. 3.4. VERIFICATIONS.....	10
F. 3.5. PAIEMENT	12
F. 4. FONDATIONS.....	12
F. 4.1. TRAVAUX PREALABLES: REPROFILAGE ET COMPACTAGE D'UNE SOUS-FONDATION OU D'UNE FONDATION PREEXISTANTE	12
F. 4.2. FONDATION EN EMPIERREMENT	13
F. 4.3. FONDATION EN SABLE-CIMENT	18
F. 4.4. FONDATION EN SABLE-LAITIER.....	22
F. 4.5. FONDATION EN BETON MAIGRE	24
F. 4.6. FONDATION EN BETON MAIGRE POREUX.....	28
F. 4.7. FONDATION EN BETON SEC COMPACTE (BSC).....	30
F. 4.8. RETRAITEMENT DE CHAUSSEES EXISTANTES AU MOYEN DE CIMENT	33
F. 4.9. FONDATIONS EN PRODUITS DE SCALPAGE TRAITES	38
F. 4.10. FONDATION EN GRAVE-BITUME.....	40

F. 1. TRAVAUX PRELIMINAIRES

Préalablement à la mise en œuvre d'un géotextile ou de la sous-fondation, toute irrégularité du fond du coffre qui dépasse les tolérances admises au [E. 3.3.3](#) est nivelée et recompaquée.

Une estimation de la portance du fond de coffre peut être réalisée par le passage d'un essieu de minimum 11 tonnes.

En cas de déformation visible, la portance du fond de coffre est contrôlée conformément au [E. 3.3.3.1](#). Le fond de coffre est débarrassé de toute trace d'eau stagnante et de matériaux indésirables.

Ces opérations constituent une charge d'entreprise.

F. 2. TRAVAUX PREALABLES

Les travaux préalables peuvent comprendre les travaux suivants:

- la pose d'un géotextile de protection (anticontaminant) ([F. 2.1.1.](#))
- la pose d'une géogrille de renforcement ([F. 2.1.2.](#))
- le compactage du fond de coffre ([F. 2.2.](#))
- le traitement du fond de coffre au moyen d'un additif ([F. 2.3.](#))
- le remplacement de terrains impropres à constituer le fond de coffre ([F. 2.4.](#)).

F. 2.1. POSE D'UNE GEOGRILLE OU D'UN GEOTEXTILE

F. 2.1.1. POSE D'UN GEOTEXTILE ANTICONTAMINANT

F. 2.1.1.1. DESCRIPTION

La pose d'un géotextile anticontaminant avant la mise en œuvre de la sous-fondation a pour but d'éviter la remontée d'éléments fins dans la sous-fondation, de séparer les couches et de garantir une filtration.

F. 2.1.1.2. CLAUSES TECHNIQUES

Les géotextiles répondent au [C. 25](#).

Les géotextiles doivent être posés à plat, sans dépressions, plis ou autres inégalités similaires. Les bandes de géotextile sont posées avec un recouvrement minimal de 50 cm.

Toute circulation sur le géotextile est interdite avant la mise en œuvre de la sous-fondation granulaire afin d'éviter tout endommagement du géotextile.

Le géotextile doit être recouvert par la couche de sous-fondation dans un délai qui n'excède pas le délai maximum déclaré par le fournisseur ni 30 jours calendrier.

F. 2.1.1.3. VERIFICATIONS ET PAIEMENT

Les vérifications portent sur la conformité du géotextile et sur le respect de la pose et des recouvrements. Le paiement s'effectue sur base de la surface mise en œuvre hors recouvrement.

F. 2.1.2. POSE D'UNE GEOGRILLE DE RENFORCEMENT

F. 2.1.2.1. PREAMBULE

Cette technique de renforcement est utilisée lorsque le sol est insuffisamment portante ($7\text{MPa} \leq M1 \leq 17\text{MPa}$).

En dessous de 7 MPa, il y a lieu d'utiliser une autre technique: [F. 2.3.](#) ou [F. 2.4.](#)

F. 2.1.2.2. DESCRIPTION

La pose d'une géogridde de renforcement a pour but d'augmenter significativement la portance pendant le chantier et la durée de vie de la route à long terme. Cette géogridde de renforcement s'utilise en combinaison avec un géotextile anticontaminant et avec une couche de 40 cm d'épaisseur de matériau de fondation non liée. Cette couche d'empierrement peut être considérée comme une sous-fondation.

Une géogridde est toujours posée en combinaison avec un géotextile anticontaminant. Ce géotextile est placé sous la géogridde.

F. 2.1.2.3. CLAUSES TECHNIQUES

Les géogriddes sont conformes aux prescriptions du [C. 27.4](#).

Les bandes de géotextile répondent aux prescriptions du [C. 25.2.1](#).

Elles doivent être posées à plat, sans dépressions, plis ou autres inégalités similaires. Elles sont en principe posées parallèlement à l'axe longitudinal de la route et avec un recouvrement minimal de 50 cm. Les documents du marché prescrivent le cas échéant une autre pose et un autre recouvrement.

Toute circulation sur la géogridde est interdite avant la mise en œuvre de la sous-fondation granulaire afin d'éviter tout endommagement.

La géogridde est recouverte par la couche de sous-fondation dans un délai qui n'excède pas le délai maximum déclaré par le fournisseur ni 30 jours calendrier.

F. 2.1.2.4. VERIFICATIONS ET PAIEMENT

Les vérifications portent sur:

- la conformité de la géogridde
- la pose et les recouvrements.

Le paiement s'effectue pour la géogridde de renforcement sur base de la surface mise en œuvre hors recouvrement.

F. 2.2. FOND DE COFFRE

F. 2.2.1. CLAUSES TECHNIQUES

L'entrepreneur prend toutes les dispositions pour maintenir la portance du sol. La restitution éventuelle de la portance naturelle, par compactage, est une charge d'entreprise.

Si la portance ne peut être atteinte par suite des caractéristiques du sol, l'entrepreneur en avertit le fonctionnaire dirigeant qui décide des mesures à prendre.

F. 2.2.2. SPECIFICATIONS

La compacité ou portance du fond de coffre répond aux prescriptions du [E. 3.3.3.1](#).

F. 2.2.3. VERIFICATIONS ET PAIEMENT

La conformité aux critères retenus de compacité ou de portance est vérifiée par les essais appropriés. De commun accord, le fonctionnaire dirigeant et l'entrepreneur déterminent le nombre et l'emplacement des essais à réaliser.

Le paiement de la préparation du fond de coffre s'effectue sur base de la surface compactée.

F. 2.3. TRAITEMENT DU FOND DE COFFRE AU MOYEN D'UN ADDITIF

F. 2.3.1. DESCRIPTION

Le traitement du fond de coffre au moyen d'un additif a pour but, soit d'améliorer, soit de stabiliser le sol en place.

- L'amélioration du sol du fond de coffre est envisagée lorsque sa portance n'est pas satisfaisante. Il s'agit d'un traitement in situ au moyen d'un liant dans le but d'améliorer les conditions de mise en œuvre et de compactage du fond de coffre.
- La stabilisation du fond de coffre par un traitement de sol peut être envisagée dans des conditions favorables de drainage. Le sol traité est alors considéré comme une sous-fondation et répond au [F. 3.2.2.](#)

F. 2.3.2. CLAUSES TECHNIQUES

Les clauses techniques concernent l'amélioration du fond de coffre.

Le traitement des sols dans le but d'une amélioration du fond de coffre est semblable au traitement en remblai. Le [E. 3.4](#) est d'application, à l'exception de l'étude de formulation et vérification.

F. 2.3.2.1. MATERIAUX ET ETUDE DE FORMULATION

L'additif utilisé est:

- du ciment: [C. 8](#)
- de la chaux: [C. 9.2.1](#)
- du liant hydraulique routier: [C. 10.1](#)
- des fines de scories: [C. 10.2.](#)

L'étude de formulation comprendra au minimum les tests suivants:

Pour différents dosages en liant:

- courbe Proctor (densité sèche en fonction de la teneur en eau; OPN: Proctor Normal)
- CBR (pour les teneurs en eau susceptibles d'être rencontrées lors de l'exécution)
- IPI et CBR_{4j immersion} (pour les teneurs en eau susceptibles d'être rencontrées lors de l'exécution).

Sur base des résultats d'essais, le dosage en liant est déterminé pour garantir un CBR de 20 %, en fonction de la teneur en eau du jour mesurée sur site.

Le sol traité répond aux prescriptions suivantes.

Caractéristique	Prescription	Commentaires
CBR	≥ 20 %	-
Portance à terme: CBR _{4j immersion} / IPI	≥ 1(*)	-

(*) Le critère ne s'applique pas pour les valeurs IPI élevées (> 40 %).

Cette étude étant un outil d'exécution est à charge de l'entrepreneur.

F. 2.3.2.2. EXECUTION

F. 2.3.2.2.1. EPANDAGE

Le sol est scarifié sur une épaisseur maximale de 30 cm et l'additif est épandu mécaniquement de manière uniforme. La répartition du liant ne s'écarte pas de plus de 20 % du dosage fixé. Cette régularité du dosage est obtenue indépendamment de la vitesse des engins. Les engins d'épandage sont pourvus de dispositifs spéciaux pour réduire au maximum la production de poussières.

F. 2.3.2.2. MALAXAGE, COMPACTAGE ET NIVELLEMENT

Le malaxage s'exécute par bandes longitudinales successives. Chaque bande recouvre la précédente sur une largeur minimale de 10 cm. Le malaxage réalise un mélange homogène. La section traitée présente une structure uniforme sur toute l'épaisseur. La couche traitée est compactée.

Si la portance imposée n'est pas atteinte, le fond de coffre est recompacté (en cas d'utilisation de chaux) ou remplacé et compacté (en cas d'utilisation de ciment).

F. 2.3.2.3. PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES POUR LES MATERIAUX TRAITES A LA CHAUX

F. 2.3.2.3.1. MALAXAGE

Le délai entre le malaxage et le compactage est compris entre 2 et 4 heures en cas d'utilisation de chaux vive.

F. 2.3.2.3.2. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

En cas de vent fort, de pluie persistante ou lorsque la température du sol à traiter est inférieure à 4 °C, le traitement de sol est interrompu.

En cas de gel, les couches éventuellement décompactées lors du dégel sont recompactées au degré imposé; les matériaux éventuellement détrempés sont retraités.

En cas de pluie soudaine intervenant en cours d'exécution, l'épandage est interrompu. Un premier malaxage et un lissage des surfaces déjà traitées sont effectués. A la reprise des travaux, le malaxage est achevé, avec épandage complémentaire d'additif, rendu nécessaire par la nouvelle teneur en eau. Les sols, dont le traitement n'a pas été entamé avant arrêt des travaux, le sont avec des dosages compatibles avec leur teneur réelle en eau.

F. 2.3.2.3.3. PROTECTION DES COUCHES TRAITÉES

Si, pour des raisons d'organisation de chantier ou de conditions climatologiques, il n'est pas possible de poursuivre immédiatement les travaux des couches complémentaires de la structure routière, la surface du sol traité doit être protégée contre les effets d'humidification et d'assèchement.

La protection consiste en l'application, au plus tard en fin de journée, d'une émulsion de bitume à raison de 0,7 l/m², suivie éventuellement d'un sablage (sable C. 3.4.2) à raison de 3 kg/m².

F. 2.3.2.4. PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES POUR MATERIAUX TRAITES AU CIMENT OU AVEC UN LIANT HYDRAULIQUE ROUTIER (LHR)

F. 2.3.2.4.1. EPANDAGE

Pour des tronçons limités où l'épandage mécanique est impossible, le fonctionnaire dirigeant peut autoriser la mise en œuvre de ciment en sacs répartis uniformément sur la surface à traiter. Les sacs sont crevés et vidés en place; l'épandage se fait à la pelle et au râteau.

F. 2.3.2.4.2. MALAXAGE

Le délai entre le malaxage et le compactage est de 2 heures au maximum pour le ciment et conforme aux prescriptions du fournisseur pour les liants hydrauliques routiers.

F. 2.3.2.4.3. PROTECTION

La protection contre la dessiccation des matériaux traités au ciment **ou au LHR** s'effectue en deux phases (d'application à partir du 01/01/2023):

- la première phase consiste en un arrosage modéré à l'eau (sans ruissellement) de la surface du matériau traité; cet arrosage s'effectue immédiatement après le dernier passage du ou des engins de compactage
- la seconde phase s'effectue au plus tard en fin de journée; elle consiste en l'application:
 - d'une émulsion de bitume C60B1 conforme au C. 12.8, à raison de 0,7 l/m²
 - d'un épandage de sable conforme au C. 3.4.2, à raison de 3 kg/m².

Pour les sols, les empièvements, les sables stabilisés au ciment **ou au LHR** ainsi que pour les fondations des trottoirs et des éléments linéaires, cette protection peut être remplacée par la pose de toute autre membrane étanche pendant 72 heures.

(d'application à partir du 01/01/2023)

La protection contre le gel est assurée efficacement pendant 7 jours après la mise en œuvre du matériau traité au ciment **ou au LHR**. La température au niveau supérieur de la couche traitée ne peut descendre en dessous de 1 °C. En cas d'utilisation d'accélérateur de prise et/ou de durcissement, le § 5.2.7. de la NBN EN 206 est d'application.

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 2.3.2.4.4. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

En cas de vent fort, de pluie persistante ou lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est inférieure à 1 °C à 8 heures du matin ou inférieure ou égale à -3 °C durant la nuit, le traitement de sol est interrompu.

En cas de gel, le recomptage des couches éventuellement décompactées lors du dégel est interdit.

En cas de pluie soudaine amenant le matériau traité à une teneur en eau située au-delà de la limite autorisée dans l'étude préalable, l'épandage est interrompu. Le malaxage et le compactage des surfaces où le ciment a été épandu sont effectués. La reprise du traitement se fait en accord avec le fonctionnaire dirigeant.

F. 2.3.2.5. PRESCRIPTIONS COMPLEMENTAIRES POUR TRAVAUX EN SITE SENSIBLE

Les prescriptions du E. 3.4.3.1.1.3.7. sont d'application.

F. 2.3.3. SPECIFICATIONS

La compacité ou portance du fond de coffre répond au E. 3.3.3.1.

Elle est mesurée avant la prise du liant spécifiée sur la fiche technique de ce dernier.

F. 2.3.4. VERIFICATIONS

Sont contrôlés en cours d'exécution:

- l'épaisseur de la couche traitée
- le temps s'écoulant entre le malaxage et le compactage
- le respect des prescriptions d'exécution complémentaires (conditions météorologiques, épandage, malaxage, protection contre la dessiccation).
- granulométrie et vitesse d'hydratation de la chaux
- le respect de la géométrie selon le E. 3.3.3.2.

Pour les vérifications a posteriori, la portance est contrôlée conformément au critère du fond de coffre du E. 3.3.3.1. Le fonctionnaire dirigeant détermine le nombre et l'emplacement des essais à réaliser.

F. 2.3.5. PAIEMENT

Pour les chantiers de traitement où l'on ne dispose pas d'une étude de sol, le traitement est payé sur base du volume de terres traitées.

Le liant est payé de la manière suivante:

- la chaux est payée à la tonne. La quantité présumée est estimée sur base de 2 % de chaux par tonne de terre traitée. L'étude simplifiée permet de justifier l'écart éventuel entre ce qui est mis en œuvre sur chantier et les 2 %
- le ciment est payé à la tonne. La quantité présumée est estimée sur base de 5 % de ciment par tonne de terre traitée. L'étude simplifiée permet de justifier l'écart éventuel entre ce qui est mis en œuvre sur chantier et les 5 %.

Le traitement du remblai (installation du matériel, traitement, enlèvement du matériel et supplément pour le traitement de chaux et de ciment) se fait sur base des postes correspondants détaillés dans le CPN.

La protection est incluse dans le prix du traitement.

Pour les chantiers où l'on dispose de l'étude de sol, le traitement est payé sur base du volume de terres traité pour une teneur en eau de référence.

Ce poste comprend la fourniture du liant et le travail nécessaire pour le traitement des terres supposées à la teneur en eau de référence, mentionnée dans les documents du marché.

Un supplément, payé par m³ de terre traité, est porté en compte par pour-cent de teneur en eau naturelle supérieure à la teneur en eau de référence.

La teneur en eau naturelle des terres est mesurée quotidiennement sur chantier.

Ce supplément inclut la surconsommation de liant due au l'augmentation de la teneur en eau.

Les travaux en site sensible font l'objet de postes séparés du métré.

F. 2.4. REMPLACEMENT DE SOLS IMPROPRES A CONSTITUER LE FOND DE COFFRE

F. 2.4.1. DESCRIPTION

Remplacement de sols impropres par des matériaux susceptibles de fournir la portance désirée.

F. 2.4.2. CLAUSES TECHNIQUES

Les matériaux de remplacement répondent au [F. 3.1.1.](#)

L'épaisseur du terrain impropre à remplacer est déterminée par le fonctionnaire dirigeant sur base des spécifications ci-dessous.

F. 2.4.3. SPECIFICATIONS

La compacité ou portance du fond de fouille répond au [E. 3.3.3.1.](#)

F. 2.4.4. VERIFICATIONS

Les contrôles d'exécution portent sur l'épaisseur du terrain à remplacer.

La conformité aux critères retenus de compacité ou de portance est vérifiée par les essais appropriés. Le fonctionnaire dirigeant détermine le nombre et l'emplacement des essais à réaliser.

F. 2.4.5. PAIEMENT

Le paiement s'effectue sur base du volume de terres remplacé. L'excavation des déblais, la fourniture des matériaux de remplacement et la réalisation des remblais sont comprises dans ce prix.

L'évacuation des matériaux non réutilisés se fait conformément au [D. 2](#) et fait l'objet de postes de la série D9000.

F. 3. SOUS-FONDTIONS

F. 3.1. DESCRIPTION

F. 3.1.1. SOUS-FONDTIONS DE TYPE GRANULAIRE

La sous-fondation de type granulaire appartient à l'un des 3 types suivants et répond aux spécifications reprises au [F. 3.2.1.3.](#):

Type	Constituants	Taille maximale des plus gros éléments (mm)	Épaisseur d'une couche élémentaire (cm)
1	Graves ou mélange discontinu de graves, de gravillons, de sables et de fines (particules inférieures à 0,063 mm)	63	De 10 à 30
2	Graves ou mélange de graves, de gravillons, de sables et de fines (particules inférieures à 0,063 mm)	125	De 20 à 30
4	Couche inférieure: mélange de gravillons d'origine naturelle ou recyclés (1). Les granulats artificiels sont exclus.	125	De 20 à 30
	Couche supérieure: empierrement discontinu (couche de finition) de type III E conforme au F. 4.2.1.	---	8

(1) Pour les granulats recyclés, l'essai gel-dégel selon la NBN EN 1367-1 est réalisé sur la fraction 32/63.

F. 3.1.2. SOUS-FONDTIONS OBTENUES PAR TRAITEMENT DU SOL EN PLACE

La stabilisation du sol pour la couche de sous-fondation a pour but d'assurer la traficabilité de la couche, l'obtention des degrés de compactage visés, une portance élevée et une durabilité de cette portance dans le temps sous l'influence de l'eau et du gel.

La stabilisation du sol pour la couche de sous-fondation peut être envisagée dans des conditions favorables de drainage. Un drainage de la plate-forme doit être assuré avant le traitement.

F. 3.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 3.2.1. SOUS-FONDTIONS DE TYPE GRANULAIRE

F. 3.2.1.1. MATERIAUX

Les sous-fondations de type granulaire sont constituées soit de mélanges granulaires et d'eau, soit de graves et d'eau.

Les constituants des sous-fondations de type granulaire répondent aux spécifications du chapitre C les concernant:

- eau: [C. 1.](#)
- sable: [C. 3.4.2.](#)
- gravillons: [C. 4.4.1.](#)
- graves: [C. 5.4.1.](#)

Les sous-fondations de type granulaire répondent aux spécifications du [F. 3.1.1.](#) et du [F. 3.2.1.3.1.](#)

F. 3.2.1.2. EXECUTION

Le document de référence QUALIROUTES-A-1 "Mise en place d'un système de gestion de la qualité lors de l'exécution des marchés de travaux" et le document QUALIROUTES-A-1/6 "Complément au document de référence QUALIROUTES-A-1 pour sous-fondation de type granulaire" sont d'application pour les sous-fondations de plus de 1000 m²

Les matériaux sont épandus par couches élémentaires et compactés mécaniquement. L'épaisseur des couches élémentaires est de 30 cm maximum et ne peut être inférieure à 1,5 fois la dimension maximale des plus gros éléments. Ces épaisseurs minimales et maximales des couches élémentaires sont mentionnées dans le tableau [F. 3.1.1.](#)

Si une ségrégation des matériaux est constatée au cours de l'épandage, ceux-ci sont à nouveau mélangés.

L'arrosage éventuel des matériaux se fait pendant les opérations, de façon à obtenir une teneur en eau homogène et optimale.

Lorsque les niveaux réalisés ne correspondent pas aux niveaux prescrits ou lorsque les tolérances autorisées sont dépassées, la sous-fondation est rectifiée et recompactée.

F. 3.2.1.3. SPECIFICATIONS

F. 3.2.1.3.1. GRANULARITE

La sous-fondation de type 1 répond aux prescriptions suivantes:

Tamis (mm)	Passant (%)
63	100
31,5	30 à 100
2	20 à 50
0,063	0 à 7

La sous-fondation de type 2 répond aux prescriptions suivantes:

Tamis (mm)	Passant (%)
125	100
80	70 à 100
63	70 à 99
31.5	50 à 90
20	30 à 70
2	15 à 50
0,063	0 à 7

La couche inférieure de la sous-fondation de type 4 répond aux prescriptions suivantes:

Tamis (mm)	Passant (%)
125	100
80	50 à 70
20	0 à 3

F. 3.2.1.3.2. PORTANCE

Le coefficient de compressibilité M_1 est égal ou supérieur à 35 MPa (droite OC, voir Fig. E. 3.3.3.1a ou 1b).

Dans le cas de terre-plein ou de zones d'immobilisation (en-dehors de la chaussée), si l'épaisseur prescrite de la couche contrôlée est inférieure à 20 cm (de par le choix du fonctionnaire dirigeant), la valeur minimale de 35 MPa à obtenir peut être réévaluée en fonction de l'épaisseur de la couche testée et des caractéristiques du fond de coffre ($M_1 \geq 17$ MPa) selon la formule de Palmer et Barber. Le résultat de ce calcul est soumis à l'approbation du fonctionnaire dirigeant.

F. 3.2.1.3.3. NIVEAU DE SURFACE

Les niveaux de surface de la sous-fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de 2 cm sont admises pour autant qu'elles soient compatibles avec les tolérances en moins des couches sus-jacentes.

F. 3.2.1.3.4. REGULARITE DE SURFACE

Les irrégularités de surface ne peuvent dépasser 2 cm.

F. 3.2.1.3.5. EPAISSEUR

La tolérance maximum sur l'épaisseur nominale de la sous-fondation est de 10 % (en plus ou en moins) sur les épaisseurs individuelles et l'épaisseur moyenne est supérieure ou égale à l'épaisseur nominale.

F. 3.2.2. SOUS-FONDITIONS OBTENUES PAR TRAITEMENT DU SOL EN PLACE

F. 3.2.2.1. MATERIAUX ET ETUDE DE FORMULATION

L'additif ou les additifs utilisés répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant:

- ciment: C. 8.
- chaux: C. 9.2.1.
- liant hydraulique routier: C. 10.1.

L'étude de formulation comprendra au minimum les tests suivants:

Pour différents dosages en liant:

- courbe Proctor (densité sèche en fonction de la teneur en eau OPN: Proctor Normal)
- CBR (pour les teneurs en eau susceptibles d'être rencontrées lors de l'exécution)
- IPI et CBR_{4j} immersion (pour les teneurs en eau susceptibles d'être rencontrées lors de l'exécution)
- résistance à la compression simple R_c à 3, 7, 28 et 60 jours
- résistance à la compression simple R_c pour 28 jours suivis de 32 jours d'immersion
- résistance à la traction indirecte R_{it} à 28, 60 et 90 jours.

Sur base des résultats d'essais, il sera possible de déterminer le dosage nécessaire pour garantir:

- IPI et CBR_{4j} immersion (pour les teneurs en eau susceptibles d'être rencontrées lors de l'exécution).
- la résistance à la compression en immersion
- la résistance au gel.

Le sol traité répond aux prescriptions suivantes:

Caractéristique	Prescription	Commentaires
CBR	$\geq 20 \%$	-
Résistance à la compression simple Rc 28 + 32 / Rc 60	> 0.8 si MB \leq 6 > 0.6 si MB > 6	-
Résistance "au gel" du sol traité	Rc 60 > 2,5 MPa si chaux seule	-
	R _{it} 60 > 0,25 MPa	

Cette étude étant un outil d'exécution est à charge de l'entrepreneur.

F. 3.2.2.2. EXECUTION

Les prescriptions du F. 2.3.2.2. à F.2 .3.2.4. sont d'application.

F. 3.2.2.3. SPECIFICATIONS

Les spécifications du F. 3.2.1.3.2. à F. 3.2.1.3.5. sont d'application. La portance est mesurée avant la prise du liant spécifiée sur la fiche technique de ce dernier.

F. 3.3. MISE EN SERVICE

Toute circulation est interdite sur le sol stabilisé pendant une période de 7 jours qui suit la mise en œuvre.

F. 3.4. VERIFICATIONS

F. 3.4.1. RECEPTION TECHNIQUE PREALABLE DU MATERIAU DES SOUS-FONDATION DE TYPE GRANULAIRE

Dans le respect des délais prévus au chapitre A, l'adjudicataire fournit au pouvoir adjudicateur, minimum 15 jours avant la réception, les documents suivants:

- pour chaque granulat, le certificat CE2+ de l'unité de production, la DoP et la fiche technique, tels que définis au C. 3.4.2.3. pour les sables, C. 4.4.1.3. pour les gravillons et C. 5.4.1.3. pour les graves;
- pour le mélange, la courbe granulométrique du mélange envisagé.

F. 3.4.1.1. RECEPTION DOCUMENTAIRE DES CONSTITUANTS

Pour chaque granulat entrant dans la composition de la sous-fondation de type granulaire, le pouvoir adjudicateur vérifie la conformité des éléments déclarés sur les documents précités aux spécifications reprises aux:

- C. 3.4.2. pour les sables
- C. 4.4.1. pour les gravillons
- C. 5.4.1. pour les graves.

Pour un mélange en contact avec des matériaux stabilisés aux liants hydrauliques, le sable doit répondre aux spécifications du C. 3.4.3.

F. 3.4.1.2. CONTROLE DU MATERIAU DE SOUS-FONDATION

Les sous-fondations de type granulaire disposent d'un marquage CE2+, conforme à la NBN EN 13242, à l'exception des cas suivants:

- couche inférieure de la sous-fondation de type 4
- fabrication du matériau de sous-fondation sur chantier par l'adjudicataire à partir de matériaux issus du chantier
- mélange non couvert par un marquage CE2+, réalisé en unité de production malgré le fait que les granulats eux-mêmes soient porteurs du marquage CE2+.

Lorsque la sous-fondation de type granulaire ne dispose pas d'un marquage CE2+, la conformité de l'ensemble des caractéristiques spécifiées au C. 5.4.1. (graves) ou C. 4.4.1. (gravillons) ainsi qu'au F. 3.1.1. et au F. 3.2.1.3.1. est vérifiée.

Néanmoins, dans le troisième cas, seules les caractéristiques spécifiées au chapitre F sont vérifiées par des essais.

Les essais (caractéristiques et fréquences) ci-après sont réalisés à charge de l'adjudicataire en vue d'une réception technique préalable des matériaux à mettre en œuvre.

Caractéristique	Fréquence d'essai	Commentaires
Granularité et teneur en fines	1/1000 t avec au moins 1/chantier	
Qualité des fines (MB)	1/1000 t avec au moins 1/chantier	
Résistance à l'usure (micro-Deval)	1/chantier	—
Résistance à la fragmentation (Los Angeles)	1/chantier	—
Sensibilité au gel-dégel	1/chantier	—
Sulfate soluble dans l'eau	1/chantier	Uniquement pour les matériaux recyclés en contact avec une couche contenant un liant hydraulique
Stabilité volumique	1/chantier	Pour les graves et gravillons recyclés et artificiels
Autres caractéristiques spécifiques (C. 4.3.1., C. 4.3.4., C. 4.3.5., C. 4.3.8., C. 4.3.13. et C. 4.3.15)	1/1000 t avec au moins 1/chantier	
Autres caractéristiques pour applications spéciales	A préciser dans les documents du marché	—

NOTE: Lorsque la nature des matériaux issus du chantier semble visuellement variable, ceux-ci sont subdivisés en lot de nature homogène et les caractéristiques sont vérifiées sur chaque lot. Les fréquences d'essais sont applicables à chaque lot.

Lorsque le matériau dispose d'un marquage CE2+, le pouvoir adjudicateur peut toujours vérifier à ses frais la conformité de tout ou partie des caractéristiques couvertes par ce marquage CE et spécifiées dans les documents du marché.

F. 3.4.2. CONTROLES EN COURS D'EXECUTION

Sont contrôlés en cours d'exécution:

- la propreté de la couche de pose
- l'épaisseur des couches mises en œuvre
- l'homogénéité des matériaux épandus
- le niveau de surface (vérifié par opérations topographiques)

- la protection contre la dessiccation pour les mélanges contenant des liants hydrauliques
- la régularité de surface (vérifiée à la règle de 3 m)
- la portance (vérifiée à l'essai à la plaque).

F. 3.4.3. CONTROLES APRES EXECUTION

Sont contrôlés après exécution:

- les niveaux de surface
- la régularité de surface
- l'épaisseur.

Lorsque l'épaisseur n'est pas contrôlée en permanence durant l'exécution, un contrôle a posteriori de l'épaisseur de la sous-fondation est effectué par sondages à des endroits choisis aléatoirement sur chantier.

F. 3.5. PAIEMENT

F. 3.5.1. SOUS-FONDTIONS DE TYPE GRANULAIRE

Pour les sous-fondations à épaisseur constante, le paiement s'effectue sur base de la surface exécutée. Pour les sous-fondations à épaisseur variable, le paiement s'effectue sur base du volume des couches de sous-fondation réalisées.

Les surfaces des trappillons ou autres appareils ne sont pas déduites.

Pour les sous-fondations de type 4, le paiement s'effectue sur base de la surface exécutée ou sur base du volume de sous-fondation réalisé. Le coût des opérations relatives à la pénétration de la couche d'empierrement de type III E dans la couche en matériaux 20/125 est compris dans le poste.

F. 3.5.2. SOUS-FONDTIONS OBTENUES PAR TRAITEMENT DU SOL EN PLACE

Le traitement est payé sur base du volume de terres traité pour une teneur en eau de référence. Ce poste comprend la fourniture du liant et le travail nécessaire pour le traitement des terres supposées à la teneur en eau de référence, mentionnée dans les documents du marché.

Un supplément, payé par m³ de terre traité, est porté en compte par pour-cent de teneur en eau naturelle supérieur à la teneur en eau de référence.

La teneur en eau naturelle des terres est mesurée quotidiennement sur chantier.

Ce supplément inclut la surconsommation de liant due au l'augmentation de la teneur en eau.

Les travaux en site sensible font l'objet de postes séparés du métré.

F. 4. FONDATIONS

F. 4.1. TRAVAUX PREALABLES: REPROFILAGE ET COMPACTAGE D'UNE SOUS-FONDATION OU D'UNE FONDATION PREEXISTANTE

F. 4.1.1. DESCRIPTION

Reprofilage et compactage d'une sous-fondation ou d'une fondation existante.

Les travaux préalables ne sont effectués que lorsqu'une sous-fondation ou fondation est préexistante ou maintenue après démolition des couches supérieures d'une chaussée ou de toute autre partie revêtue existante.

F. 4.1.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.1.2.1. MATERIAUX

Les documents du marché précisent la nature des matériaux à utiliser; à défaut, ces matériaux répondent aux prescriptions du F. 3.2.1. en ce qui concerne le reprofilage d'une sous-fondation et du F. 4.2.1.1. en ce qui concerne le reprofilage d'une fondation.

F. 4.1.2.2. EXECUTION

La sous-fondation ou la fondation est scarifiée jusqu'à une profondeur d'au moins 10 cm, puis recompactée. Le profilage et le compactage définitifs terminent l'opération.

La fourniture éventuelle de matériaux neufs due à un excès de démolition de la couche supérieure est une charge d'entreprise.

F. 4.1.3. SPECIFICATIONS

Les prescriptions de portance, de niveau et de régularité de surface du F. 3.2.1.3. sont d'application en ce qui concerne le reprofilage d'une sous-fondation et celles du F. 4.2.3. en ce qui concerne le reprofilage d'une fondation.

F. 4.1.4. VERIFICATIONS

Les prescriptions du F. 3.4. sont d'application.

F. 4.1.5. PAIEMENT

Le paiement s'effectue sur base de la surface traitée. Les surfaces des trappillons ou autres appareils ne sont pas déduites.

Les matériaux d'apport sont payés à la tonne.

F. 4.2. FONDATION EN EMPIERREMENT

F. 4.2.1. DESCRIPTION

F. 4.2.1.1. EMPIERREMENTS A GRANULARITE CONTINUE DE TYPE I OU II

La fondation de type I est de granularité 0/20 et est constituée d'une grave ou d'un mélange de grave, de gravillons, de sable et d'eau.

La fondation de type II est de granularité 0/32 et est constituée d'une grave ou d'un mélange de grave, de gravillons, de sable et d'eau.

F. 4.2.1.2. EMPIERREMENTS A GRANULARITE CONTINUE DE TYPE I OU II TRAITES AUX ADDITIFS

Les types I et II sont définis au F. 4.2.1.1.

Suivant la nature de l'additif utilisé, on distingue les types d'empierrements suivants:

- type I A ou II A: contenant 50 à 80 kg/m³ de ciment ou de LHR de classe N4, E4 ou E4-RS; pour les LHR de classe N1, N2, N3, E2 ou E3, une étude préliminaire doit être effectuée conformément au F. 4.2.2.1.1.

(d'application à partir du 01/01/2023)

- type I C ou II C: contenant 17 % à 25 % de laitier granulé et 1 % à 2 % de chaux.

Les pourcentages d'additifs sont exprimés par rapport à la masse des granulats secs.

F. 4.2.1.3. EMPIERREMENTS A GRANULARITE DISCONTINUE DE TYPE III

Ils sont composés d'une ou de plusieurs couches inférieures et d'une couche de finition.

Les couches inférieures sont composées:

- de gravillons concassés de classe granulaire 20/63 ou 31,5/63: [C. 4.4.2.](#)
- de sable: [C. 3.4.2.](#)
- d'eau: [C. 1.](#)

L'utilisation de gravillons de classe granulaire 20/63 ou 31,5/63 est laissée au choix de l'entrepreneur, sauf prescription contraire des documents du marché.

La couche de finition a une épaisseur nominale de 8 cm et est composée:

- pour le type III E:
 - de gravillons concassés de classe granulaire 20/31,5: [C. 4.4.2.](#)
 - de sable: [C. 3.4.2.](#)
 - d'eau: [C. 1.](#)
- pour le type III F:
 - de matériaux de type IA ou IC: [F. 4.2.1.2.](#)
- pour le type III G:
 - de gravillons concassés de classe granulaire 20/31,5: [C. 4.4.2.](#)
 - de gravillons concassés de classe granulaire 4/6,3 ou 4/8: [C. 4.4.2.](#)
 - de liant bitumineux: émulsion cationique de bitume C67B1: [C.12.8.](#)

F. 4.2.1.4. EMPIERREMENTS DE TYPE IV POUR PAVAGES DRAINANTS

La fondation de type IV est de granularité 0/20 et est constituée d'un mélange de gravillons, de sable et d'eau. Ces empièrrements ne contiennent pas d'additif.

F. 4.2.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.2.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant:

- eau: [C. 1.](#)
- sable: [C. 3.4.2.](#) (empièrrements de types I, II et III), [C. 3.4.1.](#) (empièrrements de types IV).
- gravillons: [C. 4.4.2.](#)
- graves: [C. 5.4.2.](#)
- ciment: [C. 8.](#)
- chaux vive: [C. 9.](#)
- LHR: [C. 10.1.](#)
- liant bitumineux: émulsion cationique de bitume C67B1: [C. 12.8.](#)
- adjuvants: [C. 17.](#)

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.2.2.1.1 ETUDES PRELIMINAIRES (d'application à partir du 01/01/2023)

Quand le liant est un LHR de classe N1, N2, N3, E2 ou E3, l'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début de la mise en œuvre des produits, une étude préliminaire dressée par un laboratoire reprenant:

- La granularité des matériaux selon la norme NBN EN 933-1
- La détermination du moule Proctor et de la méthode de compactage selon la norme NBN EN 13286-2
- La teneur en eau optimale, la masse volumique sèche et la résistance à la compression pour une teneur en liant constante, suivant les normes NBN EN 13286-1 et -2.

- La détermination de la teneur en liant. La résistance à la compression moyenne minimale à 7 jours est 3 MPa.
- La période de maniabilité suivant la norme NBN EN 13286-45.

F. 4.2.2.2. EXÉCUTION

F. 4.2.2.2.1. EMPIERREMENTS A GRANULARITE CONTINUE ET EMPIERREMENTS POUR PAVAGES DRAINANTS

La mise en œuvre est interdite en cas de forte pluie. Les couches sont épandues mécaniquement, en épaisseur uniforme comprise entre 8 et 15 cm, et sont compactées.

La dernière couche est:

- soit mise en œuvre au finisseur
- soit réglée au moyen d'un autograde (scalpage guidé après mise en œuvre de la fondation compactée)
- soit mis en œuvre mécaniquement avec un système de guidage asservi.

Les mélanges avec additifs sont effectués en centrale. Le transport de ces empièrrements s'effectue par camions bâchés. Le mélange frais d'empièrrement traité au ciment **ou au LHR** est mis en œuvre et compacté au maximum deux heures après sa préparation.

Pour les empièrrements type I A ou II A, la protection s'effectue comme pour les sols stabilisés au ciment **ou au LHR** conformément au [F. 2.3.2.4.3.](#)

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.2.2.2.2. EMPIERREMENTS A GRANULARITE DISCONTINUE

L'exécution de l'empièrrement de type III E est réalisée par l'une des deux méthodes suivantes:

1. soit les gravillons sont épandus mécaniquement sans matière d'agrégation et compactés par couches successives dont l'épaisseur est uniforme et ne dépasse pas 15 cm. Après épandage en surface de la matière d'agrégation, chaque couche est arrosée puis cylindrée. Cette opération est répétée jusqu'à fermeture de la couche traitée.
2. soit la matière d'agrégation est mélangée en carrière.

L'exécution de la couche de finition du type III F se fait conformément au [F. 4.2.2.2.1.](#)

Pour l'exécution de la couche de finition du type III G, une couche de gravillons 2/6,3 ou 2/8 et/ou 4/6,3 ou 4/8 est uniformément répartie, à raison de 5 kg/m² sur la couche de finition de 6 cm en 20/32. Cette couche préalablement compactée est ensuite traitée en pénétration, à raison de minimum 4 kg/m² de liant résiduel répandu mécaniquement et de 15 kg/m² de gravillons 2/6,3 ou 2/8 et/ou 4/6,3 ou 4/8 épandus mécaniquement et immédiatement cylindrés.

F. 4.2.3. SPECIFICATIONS

- La granularité est conforme au tableau suivant:

Tamis (mm)	Passant (%)		
	Type I	Type II	Type IV
63	-	100	
40	100	98 - 100	
31,5	-	80 à 99	100
28	99 à 100	-	-
20	80 à 99	60 à 90	80 à 100
6,3	40 à 70	40 à 70	25 à 70
2	20 à 45	20 à 45	0 à 25
0,500	5 à 25	5 à 25	-
0,063	0 à 9	0 à 9	0 à 3

L'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début des travaux:

- les fiches techniques des composants (sable, gravillons et graves)

- la courbe granulométrique du mélange.
- La teneur conventionnelle en matières organiques des mélanges est inférieure à 0,5 %.
- La teneur en matière d'agrégation avant mise en œuvre et en moyenne dans le type III E est comprise entre 20 et 35 %.
- Le coefficient de compressibilité M_1 est égal ou supérieur à 110 MPa (droite OD, voir [figures E.3.3.3.1.a](#) ou [1.b](#)).
Dans le cas de terre-plein ou zones d'immobilisation (en-dehors de la chaussée), si l'épaisseur prescrite de la couche contrôlée est inférieure à 20cm (de par le choix du fonctionnaire dirigeant), la valeur minimale de 110 MPa à obtenir peut être réévaluée en fonction de l'épaisseur de la couche testée et de l'épaisseur et des caractéristiques de la couche inférieure et du fond de coffre (≥ 17 MPa) selon la formule de Palmer et Barber. Le résultat de ce calcul est soumis à l'approbation du fonctionnaire dirigeant.
- Les niveaux de surface de la fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de ± 10 mm sont admises, pour autant qu'elles soient compatibles avec les tolérances en moins des couches sus-jacentes.
- Les irrégularités de surface ne peuvent dépasser 10 mm.
- La tolérance maximum sur l'épaisseur nominale de la fondation est de 10 % (en plus ou en moins) sur les épaisseurs individuelles et l'épaisseur moyenne est supérieure ou égale à l'épaisseur nominale.

F. 4.2.4. VERIFICATIONS

F. 4.2.4.1. RECEPTION TECHNIQUE PREALABLE DU MELANGE

F. 4.2.4.1.1. CONTROLE DES FICHES TECHNIQUES

Pour les sables des empièvements non stabilisés aux liants hydrauliques, le contrôle de la fiche technique porte sur l'attestation de conformité (système 2+), sur la nature et l'origine, sur les caractéristiques de granularité et sur les spécifications (teneur en fines, qualité des fines et autres spécifications) conformément au [C. 3.4.2](#).

Pour les sables des empièvements type I A ou II A, le contrôle de la fiche technique porte sur l'attestation de conformité (système 2+), sur la nature et l'origine, sur les caractéristiques de granularité et sur les spécifications (teneur en fines, qualité des fines, sulfates solubles dans l'eau, sulfates soluble dans l'acide, soufre total et autres spécifications) conformément au [C. 3.4.3](#).

Pour les gravillons, le contrôle de la fiche technique porte sur l'attestation de conformité (système 2+) sur la nature et l'origine, sur les caractéristiques de granularité et sur les spécifications (teneur en fines, résistance à l'usure, résistance à la fragmentation, coefficient d'aplatissement, pourcentage en masse des grains semi-concassés ou concassés, pourcentage en masse des grains entièrement roulés, sensibilité au gel-dégel, stabilité volumique, soufre total, teneur en matières organiques et autres spécifications) conformément au [C. 4.4.2.2.2](#).

Pour les graves, le contrôle de la fiche technique porte sur l'attestation de conformité (système 2+) sur la nature et l'origine, sur les caractéristiques de granularité et sur les spécifications (teneur en fines, qualité des fines, résistance à l'usure, résistance à la fragmentation, coefficient d'aplatissement, pourcentage en masse des grains semi-concassés ou concassés, pourcentage en masse des grains entièrement roulés, sensibilité au gel-dégel, stabilité volumique, soufre total, sulfates solubles dans l'eau, teneur en matières organiques et autres spécifications) conformément au [C. 5.4.2.2.3](#).

F. 4.2.4.1.2. ESSAIS SUR LE MELANGE

Pour les mélanges ne relevant pas d'un système d'attestation de conformité, les essais suivants seront réalisés sur le mélange lors de la réception technique préalable:

- courbe granulométrique

- teneur en fines
- qualité des fines
- matières organiques.

La courbe granulométrique doit être conforme au [F. 4.2.3](#).

Les teneurs en fines, la qualité des fines et matières organiques doivent être conformes au [C. 5.4.2.2.3](#).

Les essais (caractéristiques et fréquences) ci-après sont réalisés à charge de l'adjudicataire en vue d'une réception technique préalable des matériaux à mettre en œuvre.

Caractéristique	Fréquence d'essai	Commentaires
Courbe granulométrique et teneur en fines	1/1000 T avec au moins 1/chantier	
Qualité des fines	1/1000 T avec au moins 1/chantier	
Matières organiques	1/1000 T avec au moins 1/chantier	

Remarque: dans le cas d'une fondation de type IA ou IIA, la teneur et la qualité des fines sont corrigées en tenant compte du dosage en ciment **ou LHR**.
(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.2.4.2. CONTROLES EN COURS D'EXECUTION

Sont contrôlés en cours d'exécution:

- la propreté de la surface de pose
- le dosage des matériaux
- l'épaisseur des couches mises en œuvre
- l'homogénéité des matériaux épanchés
- le délai maximal de mise en œuvre dans le cas des matériaux traités au ciment **ou au LHR**
- le niveau de surface (vérifié par opérations topographiques)
- la protection contre la dessiccation dans le cas des matériaux traités au ciment **ou au LHR**
- la régularité de surface (vérifiée à la règle de 3 m)
- la portance (vérifiée à l'essai à la plaque).

Dans le cas des fondations traitées au ciment **ou au LHR**, les essais à la plaque sont effectués à la demande du fonctionnaire dirigeant au plus tard dans les 2 heures qui suivent la mise en œuvre. Aux endroits où la portance imposée n'est pas atteinte, la fondation est rectifiée en accord avec le fonctionnaire dirigeant ou son délégué.

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.2.4.3. CONTROLES APRES EXECUTION

Sont contrôlés après exécution:

- les niveaux de surface vérifiés par mesurages topographiques. Lorsque les niveaux réalisés ne correspondent pas aux niveaux prescrits ou lorsque les tolérances locales sont dépassées,
 - la fondation non traitée au ciment **ou au LHR** est rectifiée et recompactée
 - la fondation traitée au ciment **ou au LHR** est rectifiée en accord avec le fonctionnaire dirigeant.

(d'application à partir du 01/01/2023)

En cas d'apport de matériaux, la fondation est scarifiée sur une profondeur minimale de 6 cm avant le recompactage.

- la régularité de surface est contrôlée à la règle de 3 m. Aux endroits où la tolérance est dépassée, la fondation est rectifiée comme défini ci-dessus pour les niveaux de surface.
- lorsque l'épaisseur n'est pas contrôlée en permanence durant l'exécution, un contrôle après exécution de l'épaisseur de la fondation est effectué par sondages en des endroits choisis aléatoirement sur chantier. Cet essai est effectué au plus tard dans les 24 heures qui suivent la mise en œuvre des fondations.

- pour les fondations en empièvements pour pavages drainants, la perméabilité est contrôlée. Une perméabilité minimale de $5.4 \cdot 10^{-5}$ m/s doit être atteinte. La surface du chantier est subdivisée en un ou plusieurs lots de 1000 m².

Le reste de la division par 1000 de la surface du chantier constitue un lot distinct ou est ajouté au dernier lot suivant que sa valeur atteint ou non 500 m².

Les documents du marché peuvent prévoir le regroupement de plusieurs lots.

Lorsque le fonctionnaire dirigeant constate que certaines parties de la fondation n'ont pas été exécutées conformément aux règles de l'art, il peut assimiler chacune de ces parties à un lot et la traiter comme tel.

Les caractéristiques de perméabilité d'un lot se définissent par rapport à des mesures exécutées en 4 points de la surface choisis aléatoirement.

F. 4.2.5. PAIEMENT

Pour les fondations à épaisseur constante, le paiement s'effectue sur base de la surface exécutée.

Pour les fondations à épaisseur variable, le paiement s'effectue sur base du volume des couches de fondation réalisées.

Les surfaces des trappillons ou autres appareils ne sont pas déduites.

F. 4.3. FONDATION EN SABLE-CIMENT

F. 4.3.1. DESCRIPTION

Les fondations en sable-ciment sont du type I ou du type II:

- la fondation de type I est un mélange homogène de sable, de ciment **ou LHR**, d'eau et éventuellement de cendres volantes
- la fondation de type II est exclusivement une fondation de voirie et est un mélange homogène de sable de concassage, de gravillons, de ciment **ou LHR**, d'eau et éventuellement de cendres volantes. La quantité de sable est de minimum 65 % de la masse totale sable + gravillons.

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.3.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.3.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant:

- eau: **C. 1.**
- sable: **C. 3.4.3.**
- gravillons: **C. 4.4.3.**
- cendres volantes: **C. 7.**
- ciment: **C. 8.**
- LHR: **C. 10.1.**

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.3.2.1.1. COMPOSITION (d'application à partir du 01/01/2023)

La quantité de ciment ou de LHR de classe N4, E4 ou E4-RS est de 100 kg/m³ minimum. Pour les LHR de classe N1, N2, N3, E2 ou E3, une étude préliminaire est effectuée conformément au F. 4.3.2.1.2.

Un ajout de cendres volantes de maximum 5 % de la masse du mélange sec est autorisé quand le liant est du ciment.

La teneur en eau du mélange est comprise entre 6 et 11 % de la masse sèche des constituants.

F. 4.3.2.1.2 ETUDES PRELIMINAIRES (d'application à partir du 01/01/2023)

Quand le liant est un LHR de classe N1, N2, N3, E2 ou E3, l'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début de la mise en œuvre des produits, une étude préliminaire dressée par un laboratoire reprenant:

- La granularité des matériaux selon la norme NBN EN 933-1
- La détermination du moule Proctor et de la méthode de compactage selon la norme NBN EN 13286-2
- La teneur en eau optimale, la masse volumique sèche et la résistance à la compression pour une teneur en liant constante, suivant les normes NBN EN 13286-1 et 2.
- La détermination de la teneur en liant. La résistance à la compression moyenne minimale à 28 jours est
 - o 3 MPa pour les fondations de type I dans le cas de remplissage de fouilles et enrobage de tuyaux,
 - o 4,5 MPa pour les fondations de type I dans le cas de fondation de route.
 - o 12 MPa pour les fondations de type II.
- La période de maniabilité suivant la norme NBN EN 13286-45.

F. 4.3.2.2. EXECUTION

Le mélange est effectué en centrale.

~~La quantité de ciment est de 100 kg/m³ minimum.~~

~~Un ajout de cendres volantes de maximum 5 % de la masse du mélange sec est autorisé.~~

~~La teneur en eau du mélange est comprise entre 6 et 11 % de la masse sèche des constituants.~~

Le transport s'effectue par camions bâchés. La livraison est conforme au §7 de la NBN EN 206.

Le mélange frais de sable stabilisé au ciment **ou au LHR** est mis en œuvre avec une consistance de terre humide et compacté au maximum 2 heures après sa préparation.

La fondation est exécutée en couche d'épaisseur maximale de 20 cm.

En fin de journée, la fondation est limitée par un plan vertical au moyen d'un coffrage ou d'un madrier posé sur chant et contre lequel vient buter le sable stabilisé. Ce coffrage a la hauteur de la fondation et est solidement maintenu en place.

(d'application à partir du 01/01/2023)

La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est ≤ 1 °C à 8 heures du matin ou ≤ -3 °C durant la nuit.

F. 4.3.2.3. PROTECTION CONTRE LA DESSICCATION

La protection contre la dessiccation s'effectue conformément au [F. 2.3.2.4.3](#).

F. 4.3.2.4. MISE EN SERVICE

Toute circulation est interdite sur le sable stabilisé au ciment **ou au LHR** pendant une période de 7 jours qui suit la mise en œuvre.

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.3.2.5. JOINTS POUR FONDATIONS DE TYPE II

Les documents du marché précisent si une préfissuration est requise et fixent le pas de celle-ci. Le mode de préfissuration est soumis à l'accord du fonctionnaire dirigeant au moins 15 jours avant le début des travaux.

F. 4.3.3. SPECIFICATIONS

F. 4.3.3.1. PORTANCE

Pour les fondations routières et dans le cas du sable-ciment de type I, le coefficient de compressibilité M_1 est supérieur ou égal à 110 MPa (droite OD, voir figures [E. 3.3.3.1.a](#) ou [1.b](#)). Cette portance est mesurée avant la prise du liant spécifiée sur la fiche technique de ce dernier. Dans le cas de terre-plein ou zones d'immobilisation (en-dehors de la chaussée), si l'épaisseur prescrite de la couche

contrôlée est inférieure à 20cm (par le choix du fonctionnaire dirigeant), la valeur minimale de 110 MPa à obtenir peut être réévaluée en fonction de l'épaisseur de la couche testée et de l'épaisseur et des caractéristiques de la couche inférieure et du fond de coffre (≥ 17 MPa) selon la formule de Palmer et Barber. Le résultat de ce calcul est soumis à l'approbation du fonctionnaire dirigeant.

F. 4.3.3.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION

F. 4.3.3.2.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION POUR LES FONDATIONS DE TYPE I

La résistance moyenne à la compression R'_{bm} à 7 jours d'âge sur trois éprouvettes est:

- $R'_{bm} \geq 2$ MPa dans le cas de remplissage de fouilles et enrobage de tuyaux,
- $R'_{bm} \geq 3$ MPa dans le cas de fondation de route.

Si la résistance à 7 jours d'âge n'est pas atteinte, la résistance moyenne à la compression à 28 jours d'âge, contrôlée sur les trois éprouvettes restantes, est:

- $R'_{bm} \geq 3$ MPa dans le cas de remplissage de fouilles et enrobage de tuyaux,
- $R'_{bm} \geq 4,5$ MPa dans le cas de fondation de route.

F. 4.3.3.2.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION POUR LES FONDATIONS DE TYPE II

Les résistances sont mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge.

Le prélèvement des carottes a lieu au minimum 8 jours après la pose de la fondation en sable-ciment.

Les prescriptions concernent, par fraction de lot (ou section), les résistances individuelles R'_{bi} .

Caractéristique	Exigence
Résistance minimum $R'_{bi,min}$ (MPa)	12,0

F. 4.3.3.3. NIVEAU DE SURFACE

Les niveaux de surface de la fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de ± 1 cm sont admises pour autant qu'elles soient compatibles avec les tolérances des couches sous-jacentes.

F. 4.3.3.4. REGULARITE DE SURFACE

Les irrégularités de surface ne peuvent dépasser 1 cm.

F. 4.3.3.5. EPAISSEUR

Les épaisseurs sont mesurées sur des carottes de 100 cm².

Les prescriptions concernent, par fraction de lot (ou section), les épaisseurs individuelles E_i exprimées en mm à 0,5 mm près par excès ou par défaut.

L'épaisseur individuelle minimum $E_{i,min}$ est $\geq E_{nom}$
où E_{nom} est l'épaisseur nominale (mm) fixée par les documents du marché.

F. 4.3.4. VERIFICATIONS

F. 4.3.4.1. ESSAIS EN COURS D'EXECUTION

Les contrôles portent sur:

- la propreté de la surface de pose
- le dosage des matériaux
- l'épaisseur des couches mises en œuvre
- l'homogénéité des matériaux épandus

- la protection contre la dessiccation
- le niveau de surface
- la régularité de surface
- la portance.

F. 4.3.4.2. ESSAIS APRES EXECUTION

F. 4.3.4.2.1. NIVEAUX DE SURFACE

Les niveaux sont vérifiés par mesurages topographiques. Lorsque les niveaux réalisés ne correspondent pas aux niveaux prescrits ou lorsque les tolérances locales sont dépassées, l'entrepreneur est tenu de retravailler la fondation, suivant une méthode approuvée par le fonctionnaire dirigeant.

F. 4.3.4.2.2. REGULARITE DE SURFACE

Les irrégularités de surface sont mesurées à la règle de 3 m. Aux endroits où la tolérance est dépassée, la fondation est rectifiée suivant une méthode approuvée par le fonctionnaire dirigeant.

F. 4.3.4.2.3. RESISTANCES A LA COMPRESSION

Pour le type I, la résistance à la compression simple est contrôlée sur des éprouvettes d'essai Proctor standard. Six éprouvettes sont fabriquées et conservées en laboratoire dans une chambre humide.

Pour le type II, les résistances à la compression simple sont mesurées, sur carottes extraites par forage. Le nombre de carottes à prélever est conforme au [G. 1.4.2.1.1](#).

Les carottes sont conservées en laboratoire, en atmosphère humide saturée, à une température de 20 °C pendant au moins 10 jours avant les essais.

F. 4.3.4.2.4. EPAISSEUR

Lorsque l'épaisseur n'est pas contrôlée en permanence durant l'exécution, un contrôle après exécution de l'épaisseur de la fondation est effectué par sondages en des endroits choisis aléatoirement sur chantier.

F. 4.3.5. PAIEMENT

F. 4.3.5.1. MESURAGES

Pour les fondations à épaisseur constante, le paiement s'effectue sur base de la surface exécutée. Pour les fondations à épaisseur variable, le paiement s'effectue sur base du volume des couches de fondation réalisées.

Les surfaces des trappillons ou autres appareils ne sont pas déduites.

L'opération de préfissuration fait l'objet de postes séparés au métré et est payée sur base de la longueur de joint réalisé.

F. 4.3.5.2. REFACTION POUR MANQUEMENT

F. 4.3.5.2.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION DES FONDATIONS DE TYPE I

Si la valeur moyenne de la résistance à la compression à 28 jours d'âge sur trois éprouvettes n'est pas atteinte mais qu'elle est ≥ 60 % de la valeur exigée, une refaction est appliquée sur la production représentative comme suit: entre 60 % et 100 % de la résistance demandée, le nouveau prix unitaire est calculé linéairement de 0 % (0,00 EUR) à 100 % du prix de l'offre.

Si la valeur moyenne obtenue est < 60 % de la résistance à la compression exigée, la fondation est refusée.

F. 4.3.5.2.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION DES FONDATIONS DE TYPE II

Lorsque dans une fraction de lot (ou section), la résistance individuelle R'_{bi} d'une carotte est inférieure à la résistance minimum $R'_{b,min}$ fixée au F. 4.3.3.2.2, la fraction de lot correspondante peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suit:

- Pour les postes en m^2 :

$0 < MR_i \leq 10\%$	$R_{Ri} = p S' (2 MR_i) / 100$
$10 < MR_i \leq 20\%$	$R_{Ri} = p S' (8 MR_i - 60) / 100$
$MR_i > 20\%$	REFUS

où MR_i = le manque de résistance et vaut $MR_i = \frac{R'_{b,min} - R'_{bi}}{R'_{b,min}} \times 100$ [%]

R_{Ri} = réfaction liée à la résistance individuelle à la compression simple (€)

p = prix unitaire du revêtement (€/m²)

S' = surface de la fraction de lot correspondant (m²).

- Pour les postes en mètre linéaire:

$0 < MR_i \leq 10\%$	$RR_i = p L' (2 MR_i) / 100$
$10 < MR_i \leq 20\%$	$RR_i = p L' (8 MR_i - 60) / 100$
$MR_i > 20\%$	REFUS

où MR_i = le manque de résistance et vaut

RR_i = réfaction liée à la résistance individuelle à la compression simple (€)

p = prix unitaire des fondations des éléments linéaires (€/m)

L' = Longueur de la fraction de lot correspondant (m).

(d'application à partir du 01/01/2022)

F. 4.3.5.2.3. EPAISSEUR INDIVIDUELLE POUR LES FONDATIONS DE TYPE II

Lorsque dans une fraction de lot (ou section), l'épaisseur individuelle E_i d'une carotte est inférieure à E_{nom} , la fraction de lot correspondante à la carotte i peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suit:

$0 < ME_i \leq 10 \text{ mm}$	$R_{Ei} = p S' ME_i / 100$
$10 < ME_i \leq 30 \text{ mm}$	$R_{Ei} = p S' (4,5 ME_i - 35) / 100$
$ME_i > 30 \text{ mm}$	REFUS

où ME_i = le manque d'épaisseur et vaut $ME_i = E_{nom} - E_i$ (mm)

R_{Ei} = réfaction liée à l'épaisseur individuelle (€)

p = prix unitaire du revêtement (€/m²)

S' = surface de la fraction de lot correspondant (m²).

F. 4.4. FONDATION EN SABLE-LAITIER

F. 4.4.1. DESCRIPTION

La fondation est composée d'un mélange homogène de sable de concassage, de gravillons concassés, de laitier granulé, d'eau et de chaux vive.

F. 4.4.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.4.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions suivantes:

- eau: [C. 1.](#)
- laitier granulé: [C. 3.3.1.](#)
- sable: [C. 3.4.3.](#)
- gravillons: [C. 4.4.2.](#)
- chaux: [C. 9.](#)

La granularité du mélange gravillons concassés, sable de concassage et laitier granulé est donnée ci-après.

Tamis (mm)	Passant (%)
6,3	100
4,0	80 à 100
2,0	45 à 70
1,0	25 à 45
0,063	5 à 15

L'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début des travaux:

- les fiches techniques des composants (sable, gravillons et graves)
- la courbe granulométrique du mélange.

Le sable-laitier contient 15 à 20 % de laitier granulé et 0,5 à 2 % de chaux vive.

F. 4.4.2.2. EXECUTION

Le mélange est effectué en centrale.

La fondation est exécutée en couche d'épaisseur maximale de 20 cm.

En fin de journée, la fondation est limitée par un plan vertical au moyen d'un coffrage ou d'un madrier posé sur chant et contre lequel vient buter le sable-laitier. Ce coffrage a la hauteur de la fondation et est solidement maintenu en place.

Le transport s'effectue par camions bâchés. La livraison est conforme au § 7 de la NBN EN 206.

La mise en œuvre est interdite lorsque le sol est gelé.

La protection contre la dessiccation s'effectue conformément au [F. 2.3.2.4.3.](#)

Toute circulation est interdite sur le sable-laitier pendant une période de 3 jours après la mise en œuvre.

F. 4.4.3. SPECIFICATIONS

Les prescriptions du [F. 4.3.3.](#) relatives au sable-ciment de type I sont d'application.

F. 4.4.4. VERIFICATIONS

Les prescriptions du [F. 4.3.4.](#) relatives au sable-ciment de type I sont d'application.

F. 4.4.5. PAIEMENT

Les prescriptions du [F. 4.3.5.](#) relatives au sable-ciment de type I sont d'application.

F. 4.5. FONDATION EN BETON MAIGRE

F. 4.5.1. DESCRIPTION

Les fondations en béton maigre sont du type I ou II.

Le type I est un mélange de:

- gravillons et/ou de graves naturels ou gravillons de granulats recyclés de béton et/ou gravillons de granulats recyclés hydrocarbonés
- sables, dont la granularité est éventuellement corrigée par addition de laitier granulé (au maximum 20 % de la masse de sable)
- ciment **ou LHR**
- eau
- éventuellement cendres volantes ou filler
- éventuellement adjuvants, moyennant l'accord du fonctionnaire dirigeant.

(d'application à partir du 01/01/2023)

Le type II est un mélange de laitier granulé, de ciment et d'eau.

F. 4.5.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.5.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant.

- eau: C. 1.
- laitier granulé: C. 3.3.1.
- sable: C. 3.4.4.
- gravillons: C. 4.4.3.
- graves: C. 5.4.3.
- cendres volantes: C. 7.
- ciment: C. 8/
- **LHR: C. 10.1.**
- filler: C. 11.
- adjuvants: C. 17.

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.5.2.2. EXECUTION

F. 4.5.2.2.1. COMPOSITION

Pour le béton maigre pour fondation de chaussées et/ou zones d'immobilisation, l'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début du bétonnage:

- les fiches techniques des composants (gravillons, graves, sable, ciment **ou LHR**, additifs et adjuvants éventuels...)
- une étude de la composition du béton, certifiée par un laboratoire, reprenant:
 - la composition en masse des gravillons, graves et sables
 - la teneur en ciment **ou LHR** et en eau
 - la consistance du béton frais
 - la masse volumique du béton à l'état sec
 - le type, les caractéristiques et le dosage des adjuvants et additifs éventuels
- l'emplacement de la centrale à béton.

(d'application à partir du 01/01/2023)

Si le béton maigre pour les fondations de trottoirs, éléments linéaires et localisés est un béton maigre fourni à performance spécifiée suivant les NBN EN 206 et NBN B 15-001, il est de classe C16/20.

F. 4.5.2.2.2. FABRICATION

Les mélanges sont effectués dans une centrale de malaxage dont la capacité est suffisante pour suivre la cadence du chantier. L'entrepreneur ne peut modifier la composition du béton en cours de bétonnage sans l'accord préalable du fonctionnaire dirigeant.

La durée de malaxage, comptée à partir de l'introduction du dernier matériau dans le malaxeur (eau comprise), est supérieure à une minute.

Pour les bétons maigres, la teneur en ciment ou de LHR de classe N4, E4 ou E4-RS est au minimum de 100 kg/m³, la teneur en eau efficace ne dépasse pas 8 % de la masse du mélange sec et la teneur éventuelle en cendres volantes ne peut dépasser 8 % de la masse des granulats secs.

Pour les LHR de classe N1, N2, N3, E2 ou E3, une étude préliminaire doit être effectuée conformément au F. 4.5.2.2.3.

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.5.2.2.3. ETUDES PRELIMINAIRES (d'application à partir du 01/01/2023)

Quand le liant est un LHR de classe N1, N2, N3, E2 ou E3, l'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début de la mise en œuvre des produits, une étude préliminaire dressée par un laboratoire reprenant:

- La granularité des matériaux selon la norme NBN EN 933-1
- La détermination du moule Proctor et de la méthode de compactage selon la norme NBN EN 13286-2
- La teneur en eau optimale, la masse volumique sèche et la résistance à la compression pour une teneur en liant constante, suivant les normes NBN EN 13286-1 et 2.
- La détermination de la teneur en liant. La résistance à la compression moyenne minimale à 28 jours est 15 MPa
- La période de maniabilité suivant la norme NBN EN 13286-45.

F. 4.5.2.2.34. TRANSPORT

La livraison est conforme au § 7 de la NBN EN 206. Le béton frais est transporté, de la centrale au chantier, par des camions-bennes bâchés. Tout autre moyen de transport n'est autorisé qu'avec l'accord du fonctionnaire dirigeant. Si le transport par camion-malaxeur a été autorisé, le malaxeur tourne en vitesse de malaxage pendant au moins 2 minutes avant le déversement du béton.

Les adjuvants autorisés sont introduits, au plus tard, avant la période de malaxage précédant le déversement du béton.

F. 4.5.2.2.45. MISE EN OEUVRE

La mise en œuvre du béton est faite mécaniquement en une seule couche.

Pour les éléments linéaires préfabriqués et les trottoirs, l'épandage du béton peut être exécuté manuellement.

Lorsque l'élément linéaire coulé en place est mis en œuvre au moyen d'une machine à coffrages glissants, la fondation est également posée à l'aide d'une machine équivalente et ce sur une épaisseur minimum de 0,15 m. Au plus tard 30 minutes après sa mise en œuvre, celle-ci est protégée contre la dessiccation au moyen d'une feuille plastique. Si l'élément linéaire n'est pas mis en œuvre, cette protection est maintenue durant au minimum 72 heures.

Le béton est mis en œuvre, compacté et protégé contre la dessiccation endéans les 2 heures qui suivent sa fabrication.

La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est ≤ 1 °C à 8 heures du matin ou ≤ -3 °C durant la nuit.

En fin de journée, la fondation est limitée par un plan vertical au moyen d'un coffrage ou d'un madrier posé sur chant et contre lequel vient buter le béton. Ce coffrage a la hauteur de la fondation et est solidement maintenu en place.

F. 4.5.2.2.56. PROTECTION CONTRE LA DESSICCATION ET LE GEL

La protection contre la dessiccation et le gel s'effectue conformément au [F. 2.3.2.4.3.](#)

F. 4.5.2.2.67. MISE EN SERVICE

Toute circulation sur le béton est interdite pendant les 7 jours qui suivent la mise en œuvre.

F. 4.5.2.2.78. JOINTS

Les prescriptions du [F. 4.3.2.5.](#) sont d'application.

F. 4.5.3. SPECIFICATIONS**F. 4.5.3.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE**

Les résistances sont mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge.

Le prélèvement des carottes a lieu au minimum 8 jours après la pose de la fondation en béton maigre.

Les prescriptions concernent, par fraction de lot (ou section), les résistances individuelles R'_{bi} .

Caractéristique	Exigence	
	Fondation de chaussées et/ou zones d'immobilisation	Fondation de trottoirs, éléments linéaires et localisés
Résistance minimum $R'_{bi,min}$ (MPa)	12,0	15,0

Lorsque la fondation du trottoir ou de l'élément linéaire est attenante et est réalisée simultanément à la fondation de la chaussée, les prescriptions relatives à la fondation de chaussées et/ou zone d'immobilisation sont d'application.

F. 4.5.3.2. EPAISSEUR

Les épaisseurs sont mesurées sur des carottes de 100 cm².

Les prescriptions concernent, par fraction de lot (ou section), les épaisseurs individuelles E_i exprimées en mm à 0,5 mm près par excès ou par défaut.

L'épaisseur individuelle minimum $E_{i,min}$ est $\geq E_{nom}$

où E_{nom} est l'épaisseur nominale (mm) fixée par les documents du marché.

F. 4.5.3.3. NIVEAU DE SURFACE

Les niveaux de surface de la fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de ± 1 cm sont admises pour autant qu'elles soient compatibles avec les tolérances des couches sus-jacentes.

F. 4.5.3.4. REGULARITE DE SURFACE

Les irrégularités de surface ne peuvent dépasser 1 cm.

F. 4.5.4. VERIFICATIONS**F. 4.5.4.1. ESSAIS EN COURS D'EXECUTION**

Les contrôles portent sur:

- le matériel

- la propreté du fond de coffre
- l'alignement et la fixation des coffrages ou des fils de guidage ainsi que sur leur niveau
- les épaisseurs probables du béton par mesure par rapport au niveau du fond de coffre
- l'observation des conditions atmosphériques
- le dosage des matériaux
- la protection du béton
- le niveau de surface
- la régularité de surface.

F. 4.5.4.2. ESSAIS APRES EXECUTION

F. 4.5.4.2.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.3](#) sont d'application.

Pour les fondations en béton maigre de type I et type II, les résistances à la compression simple sont mesurées sur carottes extraites par forage (d'application à partir du 01/01/2022).

Pour les fondations des éléments linéaires, il est prélevé aléatoirement au moins 1 carotte par 200 m avec un minimum de 3 carottes. Le béton maigre utilisé en contrebutage n'est pas pris en compte dans le cadre de ce contrôle par carottage (d'application à partir du 01/01/2023).

Pour les fondations des trottoirs, il est prélevé aléatoirement au moins 1 carotte par 500 m² avec un minimum de 3 carottes.

Pour les fondations des chaussées, l'échantillonnage utilisé est conforme au G. 1.4.2.1.1.1.

Les carottes sont conservées en laboratoire conformément à la CME 52.05 pendant au moins 10 jours avant les essais.

(d'application à partir du 01/01/2022)

F. 4.5.4.2.2. EPAISSEUR

Cette vérification s'effectue sur les carottes prélevées pour la vérification des résistances à la compression.

F. 4.5.4.2.3. NIVEAU DE SURFACE

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.1](#) sont d'application.

F. 4.5.4.2.4. REGULARITE DE SURFACE

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.2](#) sont d'application.

F. 4.5.5. PAIEMENT

F. 4.5.5.1. MESURAGES

En ce qui concerne la fondation des éléments linéaires, le paiement s'effectue sur base de la longueur ou du volume selon les prescriptions des documents du marché.

Les prescriptions du [F. 4.3.5](#) sont d'application.

L'opération de préfissuration fait l'objet de postes séparés au métré et est payée sur base de la longueur de joint réalisé.

F. 4.5.5.2. REFACTION POUR MANQUEMENT

F. 4.5.5.2.1. EPAISSEUR INDIVIDUELLE

Lorsque dans une fraction de lot (ou section), l'épaisseur individuelle E_i d'une carotte est inférieure à E_{nom} , la fraction de lot correspondante à la carotte i peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suivant les données reprises au tableau du F. 4.3.5.2.3.

F. 4.5.5.2.2. Résistance à la compression

Lorsque dans une fraction de lot (ou section), la résistance individuelle R'_{bi} d'une carotte est inférieure à la résistance minimum $R'_{bi,min}$ fixée au F. 4.5.3.1., la fraction de lot correspondante peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suivant les données reprises au tableau du F. 4.3.5.2.2.

F. 4.6. FONDATION EN BETON MAIGRE POREUX

F. 4.6.1. DESCRIPTION

Le béton maigre poreux est composé d'un mélange de gravillons, de ciment et d'eau. Il permet l'écoulement de l'eau à travers sa structure vers un système de drainage.

F. 4.6.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.6.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant:

- eau: C. 1.
- gravillons: C. 4.4.3.
- ciment: C. 8.
- adjuvants: C. 17.

F. 4.6.2.2. EXECUTION

F. 4.6.2.2.1. COMPOSITION

L'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début du bétonnage:

- les fiches techniques des composants (gravillons, ciment, adjuvants éventuels, ...)
- une étude de la composition du béton, certifiée par un laboratoire, reprenant:
 - la composition en masse des gravillons
 - la teneur en ciment et en eau
 - la consistance du béton frais
 - la masse volumique du béton à l'état sec
- l'emplacement de la centrale à béton.

Le choix de la composition est laissé à l'entrepreneur. Néanmoins, celle-ci ne contient pas de sable et la teneur en ciment est d'au moins 200 kg/m³.

A titre indicatif, une composition de béton poreux est la suivante:

- 6,3/20 ou 8/20 mm: 1.130 kg
- 2/6,3 ou 2/8 mm: 565 kg
- ciment: 200 kg minimum
- eau: environ 100 litres.

L'entrepreneur ne peut modifier la composition du béton en cours de bétonnage sans l'accord préalable du fonctionnaire dirigeant.

F. 4.6.2.2.2. FABRICATION

Les mélanges sont effectués dans une centrale de malaxage. Le transport s'effectue par camions bâchés. La livraison est conforme au § 7 de la NBN EN 206.

F. 4.6.2.2.3. MISE EN OEUVRE

La mise en œuvre du béton et la finition de la surface sont exécutées mécaniquement en une seule couche.

Le béton est mis en œuvre, compacté et protégé contre la dessiccation endéans les 2 heures qui suivent sa fabrication

L'épandage s'effectue en continu par une machine qui règle la hauteur du matériau foisonné au niveau qui permettra, après compactage, d'atteindre la cote désirée.

Le compactage est puissant afin d'atteindre la couche en profondeur.

La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est ≤ 1 °C à 8 heures du matin ou ≤ -3 °C durant la nuit.

En fin de journée, la fondation est limitée par un plan vertical au moyen d'un coffrage ou d'un madrier posé sur chant et contre lequel vient buter le béton. Ce coffrage a la hauteur de la fondation et est solidement maintenu en place.

F. 4.6.2.2.4. PROTECTION CONTRE LA DESSICCATION, LA PLUIE ET LE GEL

Immédiatement après la finition de la surface, et au plus tard 30 minutes après mise en œuvre du béton, celui-ci est protégé contre la dessiccation et la pluie au moyen d'une feuille plastique. Si le revêtement n'est pas mis en œuvre, cette protection est maintenue durant un minimum de 72 heures.

La protection contre le gel est assurée efficacement pendant 7 jours après la mise en œuvre. La température au niveau supérieur de la couche en béton maigre poreux ne peut descendre en dessous de 1 °C. En cas d'utilisation de CaCl_2 , le §.5.2.7 de la NBN EN 206 est d'application.

F. 4.6.2.2.5. MISE EN SERVICE

Toute circulation sur le béton est interdite pendant les 7 jours qui suivent la mise en œuvre.

F. 4.6.3. SPECIFICATIONS**F. 4.6.3.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE**

Les résistances sont mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge.

Le prélèvement des carottes a lieu au minimum 8 jours après la pose de la fondation en béton maigre poreux.

Les prescriptions concernent, par fraction de lot (ou section), les résistances individuelles R'_{bi} .

Caractéristique	Exigence
Résistance minimum $R'_{bi,min}$ (MPa)	13,0

F. 4.6.3.2. POROSITE EFFICACE ET PERMEABILITE

La porosité efficace et la perméabilité sont mesurées sur carottes de 100 cm² extraites de la fondation.

Les prescriptions concernent, par lot, la porosité efficace individuelle P_i et la porosité efficace moyenne P_m .

Porosité efficace individuelle minimale $P_{i,min} = 6,5$ %.

Porosité efficace moyenne minimale $P_{m,min} = 8,0$ %.

Lorsque les résultats de porosité efficace sont insuffisants, la perméabilité du béton maigre poreux est déterminée. Celle-ci est supérieure à $4 \cdot 10^{-4}$ m/s sur toutes les carottes.

F. 4.6.3.3. EPAISSEUR

Les prescriptions du F. 4.5.3.2. sont d'application.

F. 4.6.3.4. NIVEAU DE SURFACE

Les prescriptions du F. 4.5.3.3. sont d'application.

F. 4.6.3.5. REGULARITE DE SURFACE

Les prescriptions du F. 4.5.3.4. sont d'application.

F. 4.6.4. VERIFICATIONS

Les prescriptions du F. 4.5.4. sont d'application.

F. 4.6.5. PAIEMENT**F. 4.6.5.1. MESURAGE**

Les prescriptions du F. 4.5.5.1. sont d'application.

F. 4.6.5.2. REFACTION POUR MANQUEMENT

Les prescriptions du F. 4.5.5.2. sont d'application sauf pour la résistance à la compression où les prescriptions suivantes sont d'application.

Lorsque dans une fraction de lot (ou section), la résistance individuelle R'_{bi} d'une carotte est inférieure à la résistance minimum $R'_{bi,min}$ fixée au F. 4.6.3.1., la fraction de lot correspondante peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suit:

$0 < MR_i \leq 10\%$	$R_{Ri} = p S' (2 MR_i) / 100$
$10 < MR_i \leq 20\%$	$R_{Ri} = p S' (8 MR_i - 60) / 100$
$MR_i > 20\%$	REFUS

Où MR_i = le manque de résistance et vaut $MR_i = \frac{R'_{b,min} - R'_{bi}}{R'_{b,min}} \times 100$ [%]

R_{Ri} = réfaction liée à la résistance individuelle à la compression simple (€)

p = prix unitaire du revêtement (€/m²)

S' = surface de la fraction de lot correspondant (m²).

En outre, le béton dont la porosité efficace n'est pas satisfaisante est refusé sauf si les essais de perméabilité sont satisfaisants.

F. 4.7. FONDATION EN BETON SEC COMPACTE (BSC)**F. 4.7.1. DESCRIPTION**

La fondation en béton sec compacté est une fondation mise en œuvre à la niveleuse et au rouleau, de composition semblable au béton maigre de type I mais avec une teneur en ciment plus élevée et un D_{max} du granulat plus petit ou égal à 20mm. Elle permet une mise en service rapide.

F. 4.7.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.7.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant:

- eau: C. 1.
- sable: C. 3.4.4.
- gravillons: C. 4.4.3.
- cendres volantes: C. 7.
- ciment: C. 8.
- adjuvant: C. 17.

F. 4.7.2.2. EXECUTION

F. 4.7.2.2.1. COMPOSITION

La fondation en béton sec compacté est un mélange homogène de sable, de gravillons, d'eau, de ciment et éventuellement de cendres volantes et/ou d'adjuvants.

Les bétons secs compactés sont de deux types: les BSC 20 et BSC 30 définis ci-après.

L'entrepreneur choisit la composition du béton en respectant les prescriptions suivantes:

- pour un BSC 20, la teneur en ciment est d'au moins 200 kg/m³
- pour un BSC 30, elle est d'au moins de 250 kg/m³
- la quantité de cendres volantes est de maximum 5 % de la masse des granulats secs
- la teneur en eau permet un compactage optimal. Généralement, la teneur en eau est légèrement inférieure à l'Optimum Proctor modifié et est comprise entre 4 et 7 % de la masse des matériaux secs.

L'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début du bétonnage:

- les fiches techniques des composants (gravillons, sable, ciment et adjuvants éventuels...)
- une étude de la composition du béton, certifiée par un laboratoire, reprenant:
 - la composition en masse des gravillons et sable
 - la teneur en ciment et en eau
 - la consistance du béton frais
 - la masse volumique du béton à l'état sec
 - le type, les caractéristiques et le dosage des adjuvants
- l'emplacement de la centrale à béton.

F. 4.7.2.2.2. FABRICATION

Les mélanges sont effectués dans une centrale de malaxage dont la capacité est suffisante pour suivre la cadence du chantier. L'entrepreneur ne peut modifier la composition du béton en cours de bétonnage sans l'accord préalable du fonctionnaire dirigeant.

La durée de malaxage, comptée à partir de l'introduction du dernier matériau dans le malaxeur (eau comprise), est supérieure à 1 minute.

F. 4.7.2.2.3. TRANSPORT

Le transport s'effectue en camions bâchés. La livraison est conforme au § 7 de la NBN EN 206.

Le béton frais est transporté, de la centrale au chantier, par des camions-bennes bâchés. Tout autre moyen de transport n'est autorisé qu'avec l'accord du fonctionnaire dirigeant. Si le transport par camion-malaxeur a été autorisé, le malaxeur tourne en vitesse de malaxage pendant au moins 2 minutes avant le déversement du béton.

Les adjuvants autorisés sont introduits, au plus tard, avant la période de malaxage précédant le déversement du béton.

F. 4.7.2.2.4. MISE EN OEUVRE

La mise en œuvre du béton est faite mécaniquement en une seule couche à la niveleuse ou au finisseur.

La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est ≤ 1 °C à 8 heures du matin ou ≤ -3 °C durant la nuit.

Le compactage est assuré par un rouleau à pneus d'une masse d'au moins 2,7 t par roue et un rouleau vibrant à jante lisse dont la masse linéique d'au moins un cylindre est supérieure à 30 kg/cm de génératrice. Le compactage est assuré de façon à atteindre au minimum 97 % de l'Optimum Proctor modifié.

Le béton est mis en œuvre, compacté et protégé contre la dessiccation endéans les 2 heures qui suivent sa fabrication.

En fin de journée, la fondation est limitée par un plan vertical au moyen d'un coffrage ou d'un madrier posé de chant et contre lequel vient buter le béton. Ce coffrage a la hauteur de la fondation et est solidement maintenu en place.

F. 4.7.2.2.5. PROTECTION CONTRE LA DESSICCATION ET LE GEL

La protection contre la dessiccation et le gel s'effectue conformément au F. 2.3.2.4.3. immédiatement après la mise en œuvre.

F. 4.7.2.2.6. JOINTS

Dans le béton sec compacté, des amorces de fissuration sont réalisées tous les 4 m sur une profondeur d'au minimum 1/3 de l'épaisseur de la fondation.

F. 4.7.2.2.7. MISE EN SERVICE

Toute circulation de moins de 3,5 t est permise immédiatement après la fin de la mise en œuvre. La circulation lourde est interdite pendant les 5 jours qui suivent la mise en œuvre.

F. 4.7.3. SPECIFICATIONS

F. 4.7.3.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION

Les résistances sont mesurées sur carottes de 100 cm² à au moins 90 jours d'âge.

Le prélèvement des carottes a lieu au minimum 8 jours après la pose de la fondation en béton sec compacté.

Les prescriptions concernent, par fraction de lot (ou section), les résistances individuelles R'_{bi} .

Caractéristique	Exigence	
	BSC20	BSC30
Résistance minimum $R'_{bi,min}$ (MPa)	20,0	30,0

F. 4.7.3.2. EPAISSEUR

Les prescriptions du F. 4.5.3.2. sont d'application.

F. 4.7.3.3. NIVEAU DE SURFACE

Les prescriptions du F. 4.5.3.3. sont d'application.

F. 4.7.3.4. REGULARITE DE SURFACE

Les prescriptions du F. 4.5.3.4. sont d'application.

F. 4.7.4. VERIFICATIONS

F. 4.7.4.1. ESSAIS EN COURS D'EXECUTION

Les prescriptions du [F. 4.5.4.1](#) sont d'application.

F. 4.7.4.2. ESSAIS APRES EXECUTION

F. 4.7.4.2.1. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

La résistance à la compression simple est mesurée sur 3 carottes, par journée de bétonnage.

F. 4.7.4.2.2. EPAISSEUR

Les prescriptions du [F. 4.5.4.2.2](#) sont d'application.

F. 4.7.4.2.3. NIVEAU DE SURFACE

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.1](#) sont d'application.

F. 4.7.4.2.4. REGULARITE DE SURFACE

Les prescriptions du [F. 4.3.4.2.2](#) sont d'application.

F. 4.7.5. PAIEMENT

F. 4.7.5.1. MESURAGE

Les prescriptions du [F. 4.3.5](#) sont d'application.

F. 4.7.5.2. REFACTION POUR MANQUEMENT

F. 4.7.5.2.1. EPAISSEUR INDIVIDUELLE

Lorsque dans une fraction de lot (ou section), l'épaisseur individuelle E_i d'une carotte est inférieure à E_{nom} , la fraction de lot correspondante à la carotte i peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suivant les données reprises au tableau du [F. 4.3.5.2.3](#).

F. 4.7.5.2.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION

F. 4.7.5.2.2.1. Résistance individuelle

Les prescriptions du [F. 4.5.5.2.2.1](#) sont d'application.

F. 4.7.5.2.2.2. Résistance moyenne

Lorsque dans une fraction de lot (ou section), la résistance individuelle R'_{bi} d'une carotte est inférieure à la résistance minimum $R'_{bi,min}$ fixée au [F. 4.7.3.1](#), la fraction de lot correspondante peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme: suivant les données reprises au tableau du [F. 4.3.5.2.2](#).

F. 4.8. RETRAITEMENT DE CHAUSSEES EXISTANTES AU MOYEN DE CIMENT

F. 4.8.1. DESCRIPTION

Le retraitement en place consiste à mélanger en place l'empierrement existant avec du ciment, éventuellement de l'eau et un matériau d'apport destiné à corriger la granularité du mélange et/ou à augmenter l'épaisseur de la fondation.

Si l'empierrement existant est recouvert d'un revêtement hydrocarboné, l'épaisseur de celui-ci n'excède pas le tiers de celle de la couche à traiter.

Le retraitement au ciment ne s'applique pas aux routes en béton ni aux pavages.

Si 10 % au moins des matériaux en place ont une classe granulaire supérieure à 80 mm, un concassage préalable des matériaux est prévu.

F. 4.8.2. CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.8.2.1. MATERIAUX

Ils répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant:

- eau: C.1.
- sable: C. 3.4.4.
- gravillons: C. 4.4.3.
- graves: C. 5.4.3.
- ciment: C. 8.

Le squelette inerte est constitué du matériau en place et, éventuellement, d'un matériau d'apport. Les proportions sont déterminées sur base des résultats des essais en laboratoire décrits ci-après.

La courbe granulométrique des matériaux correspond à la courbe de Talbot d'équation:

$$Y = \left(\frac{d}{D} \right)^{0,4} \cdot 100$$

dans laquelle: Y = % de passant au tamis d
d = maille du tamis (en mm)
D = dimension du plus gros élément (en mm).

La tolérance est de ± 5 % sur le pourcentage de passant au tamis d.

Lorsque les matériaux en place ne répondent pas à ce critère de granularité, un matériau d'apport correctif est nécessaire.

F. 4.8.2.2. COMPOSITION

La composition du mélange est fournie par l'entrepreneur sur base d'une étude établie par un laboratoire.

L'entrepreneur fournit au laboratoire les échantillons des matériaux prélevés in situ (au moins 200 kg par échantillon) et des matériaux d'apport qu'il compte utiliser (au moins 100 kg). Les prélèvements sont effectués à raison d'au moins un sondage par 500 m de route d'un seul tenant et par demi-chaussée, en alternance.

La profondeur du sondage est égale à l'épaisseur du matériau à traiter.

Si la structure et/ou les matériaux sont hétérogènes, le nombre de prélèvements peut être augmenté.

Le rapport du laboratoire précise:

- la granularité des matériaux prélevés in situ y compris la teneur en éléments inférieurs à 0,063 mm
- la teneur en matières organiques
- la granularité des matériaux d'apport éventuels
- la granularité du mélange (matériaux in situ + matériaux d'apport)
- la courbe Proctor modifié du mélange avec une teneur en ciment de 6 % de la masse sèche
- la quantité de ciment nécessaire pour obtenir une résistance minimale à la compression à 7 jours de 8 MPa sur des éprouvettes de format CBR compactées à l'énergie Proctor modifié et à la teneur en eau optimale définie à l'alinéa ci-dessus ($W_{OPM,6}$ % cim).
- la résistance "à l'immersion"
A 14 jours, la résistance moyenne des éprouvettes immergées est supérieure ou égale à 70 % de celle des éprouvettes témoins.

Si l'étude fournit une valeur du dosage de ciment par rapport à la masse totale des matériaux inférieure à 6 %, le dosage est fixé à 6 %.

F. 4.8.2.3. EXECUTION

F. 4.8.2.3.1. PREPARATION

Toute mise en œuvre est précédée d'un nettoyage du revêtement avec évacuation des matières terreuses et/ou organiques.

F. 4.8.2.3.2. DISTRIBUTION DES MATERIAUX D'APPORT, DU CIMENT ET DE L'EAU

La mise en œuvre est interdite lorsque la température de l'air mesurée sous abri, à 1,5 m du sol, est ≤ 1 °C à 8 heures du matin ou ≤ -3 °C durant la nuit.

La distribution des matériaux d'apport est régulière et homogène; elle ne s'écarte pas de plus de 2 % en valeur absolue des quantités prescrites. Les matériaux d'apport sont mis en œuvre au finisseur sur l'épaisseur prescrite mesurée après compactage et sont nivelés et compactés avant fragmentation et malaxage.

Le ciment est soit épandu devant l'engin de retraitement au moyen d'une épandeuse dont le débit est asservi à la vitesse d'avancement, soit injecté sous forme d'un coulis au droit du tambour de fragmentation.

La tolérance sur la quantité de ciment est de maximum 5 % en valeur relative de la quantité imposée. Le réglage de la teneur en eau est effectué de manière à ne pas s'écarter de plus de 1 % de l'optimum Proctor modifié défini au cours des essais.

F. 4.8.2.3.3. FRAGMENTATION ET MALAXAGE

Le traitement est effectué par la fragmentation et par le malaxage en une seule passe sur toute l'épaisseur imposée. Les deux fonctions, fragmentation et malaxage, sont parfaitement dissociées. Un malaxeur indépendant traite et homogénéise l'ensemble des matériaux. Celui-ci peut être remplacé par un finisseur qui suit immédiatement la machine de fragmentation et assure l'homogénéisation et le répandage uniforme du produit retraité.

En cas de traitement de chaussée en place, l'engin de fragmentation a une puissance minimale, en mètre linéaire de rotor, de 100 kw/h et un rotor de fragmentation qui tourne dans le sens inverse de l'avancement en soulevant les éléments qui viennent buter contre une barre de fractionnement et ramène ces éléments soit directement dans le malaxeur, soit en un cordon central devant le finisseur.

En cas de présence d'enrobés hydrocarbonés en épaisseur inférieure au 1/3 de la couche à traiter, le fraisage préalable des enrobés avec maintien du matériau en place est autorisé.

F. 4.8.2.3.4. COMPACTAGE ET FINITION

Pour des épaisseurs de matériaux traités inférieures ou égales à 25 cm, l'atelier de compactage comprend au moins un rouleau vibrant à jante lisse dont la masse linéique d'au moins un cylindre est supérieure à 3000 kg/m de génératrice.

Pour des épaisseurs supérieures à 25 cm, l'atelier de compactage comprend en plus un rouleau à pneus d'une masse d'au moins 2,7 t par roue. Dans ce cas, le compactage débute avec le rouleau à pneus.

F. 4.8.2.3.5. PROTECTION

La protection s'effectue conformément au [F. 2.3.2.4.3.](#)

F. 4.8.2.3.6. MISE EN SERVICE

Le trafic léger ($\leq 3,5$ t) est admis 4 heures après la seconde phase de la protection. Le trafic normal n'est admis qu'après la pose de la couche de surface ou du revêtement.

F. 4.8.2.3.7. JOINTS

Les prescriptions du F. 4.3.2.5 sont d'application.

F. 4.8.3. SPECIFICATIONS

F. 4.8.3.1. PORTANCE

Le coefficient de compressibilité M1 est supérieur ou égal à 110 MPa (droite OD, voir figures E. 3.3.3.1.a ou 1.b). Cet essai est effectué au plus tard dans les 24 heures qui suivent la mise en œuvre.

F. 4.8.3.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION SIMPLE

La résistance moyenne R'_{bm} minimum et la résistance individuelle R'_{bi} minimum des carottes, à au moins 90 jours d'âge sur carottes de 200 cm² extraites du revêtement, sont:

$$R'_{bm,min} = 8 \text{ MPa}$$

$$R'_{bi,min} = 5 \text{ MPa}$$

$$\text{où } R'_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} R'_{bi}}{n}$$

n = le nombre de carottes.

F. 4.8.3.3. EPAISSEUR

Les prescriptions du F. 4.5.3.2. sont d'application.

F. 4.8.3.4. NIVEAU DE SURFACE

Les niveaux de surface respectent les profils en long et en travers. Des tolérances locales de 2 cm sont admises.

F. 4.8.3.5. REGULARITE DE SURFACE

Les irrégularités de surface ne dépassent pas 1,5 cm.

F. 4.8.4. VERIFICATIONS

F. 4.8.4.1. CONTROLES EN COURS D'EXECUTION

Les contrôles portent sur:

- la vérification des matériaux d'apport et leur correspondance avec les matériaux d'apport étudiés en laboratoire
- le matériel de mise en œuvre
- la profondeur de piochage, de la fragmentation et du malaxage
- la quantité et la régularité de la distribution du matériau d'apport éventuel et du ciment
- l'homogénéité du mélange en largeur et en profondeur
- la teneur en eau du mélange
- le compactage (nombre de passes du ou des rouleaux)
- la protection par humidification puis par émulsion
- l'uni de surface.

F. 4.8.4.2. CONTROLES APRES EXECUTION

Les prescriptions du F. 4.3.4.2.3. sont d'application, à l'exception de la surface des carottes qui est de 200 cm².

F. 4.8.5. PAIEMENT

F. 4.8.5.1. MESURAGES

Le paiement s'effectue sur base de la surface traitée et des quantités des matériaux d'apport et de ciment mis en œuvre conformément au dosage fixé ou adopté.

L'opération de préfissuration fait l'objet de postes séparés du métré et est payée sur base de la longueur de joint réalisé.

Les surfaces des trappillons ou autres appareils ne sont pas déduites.

F. 4.8.5.2. REFACTION POUR MANQUEMENT

F. 4.8.5.2.1. EPAISSEUR

F. 4.8.5.2.1.1. Epaisseur individuelle

Lorsque, dans un lot, l'épaisseur individuelle E_i d'une carotte est inférieure à l'épaisseur minimum fixée au F. 4.5.3.2, la section correspondante peut être acceptée moyennant application d'une réfaction calculée comme suit:

$$R_{Ei} = p.S' \left(\frac{0,90 E_{nom} - E_i}{0,10 E_{nom}} \right)^2$$

où R_{Ei} = réfaction liée à l'épaisseur individuelle (€)
 p = prix unitaire du béton (€/m²)
 S' = surface de la section correspondante (m²).

Si $E_i < 0,80 E_{nom}$, la section est refusée.

F. 4.8.5.2.1.2. Epaisseur moyenne

Lorsque l'épaisseur moyenne d'un lot est inférieure à l'épaisseur nominale, le lot peut être accepté moyennant l'application d'une réfaction calculée comme suit:

$$R_{Em} = p.S \left(\frac{E_{nom} - E_m}{0,10 E_{nom}} \right)^2$$

où R_{Em} = réfaction liée à l'épaisseur moyenne (€)
 S = surface du lot (m²).

Si $E_m < 0,90 E_{nom}$, le lot est refusé (non susceptible de réception, au sens de l'article 43 §1^{er} du chapitre A).

F. 4.8.5.2.2. RESISTANCE A LA COMPRESSION

F. 4.8.5.2.2.1. Résistance individuelle

Lorsque, dans un lot, la résistance individuelle R'_{bi} d'une carotte est inférieure à la résistance moyenne minimum $R'_{bi,min}$ fixée au F. 4.5.3.1., la section correspondante peut être acceptée moyennant l'application d'une réfaction calculée comme suit:

$$R_{Ri} = p.S' \left(\frac{R'_{bi,min} - R'_{bi}}{0,15 R'_{bi,min}} \right)^2$$

où R_{Ri} = réfaction liée à la résistance individuelle à la compression simple (€)
 p = prix unitaire du béton (€/m²)
 S' = surface de la section correspondante (m²).

Si $R'_{bi} < 0,85 R'_{bi,min}$, la section est refusée (non susceptible de réception, au sens de l'article 43 §1^{er} du chapitre A).

F. 4.8.5.2.2. Résistance moyenne

Lorsque la résistance moyenne à la compression R'_{bm} d'un lot est inférieure à la résistance moyenne minimum R'_{bmmin} fixée au F. 4.5.3.1., le lot peut être accepté moyennant l'application d'une réfaction calculée comme suit:

$$R_{Rm} = p.S \left(\frac{R'_{bm,min} - R'_{bm}}{0,15 R'_{bm,min}} \right)^2$$

où R_{Rm} = réfaction liée à la résistance à la compression d'un lot (€)
 S = surface du lot (m²).

Si $R'_{bm} < 0,85 R'_{bm,min}$, le lot est refusé (non susceptible de réception, au sens de l'article 43 §1^{er} du chapitre A).

F. 4.9. FONDATIONS EN PRODUITS DE SCALPAGE TRAITES

F. 4.9.1. DESCRIPTION

Le produit de scalpage est un matériau qui peut être, suivant le cas:

- issu du précriblage lors de l'exploitation d'une roche massive
- issu du criblage d'une installation de traitement de déchets inertes de construction.

Son utilisation est prévue pour les routes du réseau IIIb.

Ces exigences pour le réseau III sont également applicables pour les travaux localisés exécutés sur un autre réseau (I et II).

F. 4.9.2 CLAUSES TECHNIQUES

F. 4.9.2.1. MATERIAUX

- Graves issues du criblage des granulats recyclés: C. 5.
- Produits de scalpage d'origine naturelle: C. 5.
- Ciment: C. 8. L'utilisation de ciment LA (Low Alkali) est exigée.
- Chaux vive: C. 9.2.1.
- Liant hydraulique routier (LHR): C. 10.1.

F. 4.9.2.2. COMPOSITION

Le produit est traité avec un pourcentage de chaux vive et/ou de ciment et/ou LHR (calculé par rapport au poids du matériau sec) déterminé par une étude en laboratoire.

F. 4.9.2.3. ETUDES PRELIMINAIRES

L'entrepreneur fournit, au moins quinze jours avant le début de la mise en œuvre des produits une étude préliminaire dressée par un laboratoire reprenant:

1. dans le cas d'un traitement à la chaux:

La détermination du comportement du matériau effectuée par la mesure de l'IPI (indice portant immédiat).

L'IPI est supérieur ou égal à 25 % et le rapport de l'indice CBR après immersion de quatre jours dans l'eau à l'IPI est supérieur à 1.

Suivant les conditions climatiques du moment, il peut être envisagé un arrosage in situ afin d'obtenir la teneur en eau correspondant de 100 à 102 % de l'optimum "Proctor normal" lors du compactage.

2. dans le cas d'un traitement au ciment:

Un rapport du laboratoire précise:

- la granularité des matériaux y compris la teneur en éléments inférieurs à 0,063 mm
- la teneur en matières organiques
- la courbe Proctor modifié du mélange avec une teneur en ciment de 6 % de la masse sèche
- la quantité de ciment nécessaire pour obtenir une résistance minimale à la compression à 7 jours de 8 MPa sur des éprouvettes de format CBR compactées à l'énergie Proctor modifié et à la teneur en eau optimale définie à l'alinéa ci-dessus ($W_{OPM,6\%cim}$).
- la résistance à l'immersion
A 14 jours, la résistance moyenne des éprouvettes immergées est ≥ 70 % de celle des éprouvettes témoins.

Le dosage de ciment par rapport à la masse sèche des matériaux est fixé à 6 % minimum.

3. dans le cas d'un traitement au LHR:

Les prescriptions du paragraphe 1 ou 2 sont d'application à l'exception du dosage de LHR par rapport à la masse sèche des matériaux qui dépend du type de LHR et du produit de scalpage.

F. 4.9.2.4. FABRICATION

La fabrication du produit de scalpage traité est effectuée par mélange en carrière ou en centrale.

F. 4.9.2.5. MISE EN OEUVRE

La mise en œuvre est effectuée conformément au F. 3.2.1.2. Toutefois, la dernière couche est soit mise en œuvre au finisseur, soit réglée au moyen d'un autograde (scalpage guidé après mise en œuvre de la fondation compactée), soit mise en œuvre mécaniquement avec un système de guidage asservi.

F. 4.9.2.5.1. PRESCRIPTION COMPLEMENTAIRE POUR MATERIEUX TRAITES AU CIMENT

Les prescriptions du F. 2.3.2.4.3. sont d'application.

F. 4.9.2.5.2. PRESCRIPTION COMPLEMENTAIRE POUR MATERIAUX TRAITES A LA CHAUX

Les prescriptions du F. 2.3.2.3.3. sont d'application.

F. 4.9.2.5.3. PRESCRIPTION COMPLEMENTAIRE POUR MATERIAUX TRAITES AU LHR

Les prescriptions du F. 2.3.2.4.3. sont d'application.

F. 4.9.3. SPECIFICATIONS

- Les documents du marché fixent la portance de la fondation. A défaut, le coefficient de compressibilité M_1 est égal ou supérieur à 80 MPa.
Cet essai est effectué au plus tard dans les 2 heures qui suivent la mise en œuvre.
- Les niveaux de surface de la fondation respectent les profils en long et en travers prescrits. Des tolérances locales de 1 cm sont admises, pour autant qu'elles soient compatibles avec les tolérances en moins des couches sus-jacentes.
- Les irrégularités de surface ne peuvent dépasser 1 cm.

- La tolérance maximum sur l'épaisseur nominale de la fondation est de $\pm 10\%$ sur les épaisseurs individuelles et l'épaisseur moyenne est supérieure ou égale à l'épaisseur nominale.

F. 4.9.4. VERIFICATIONS

F. 4.9.4.1. CONTROLES EN COURS D'EXECUTION

Les contrôles portent sur:

- la propreté de la surface de pose
- l'épaisseur des couches mises en œuvre
- l'homogénéité des matériaux épandus (par examen visuel)
- le niveau de surface (vérifié par opérations topographiques)
- la régularité de surface (vérifiée à la règle de 3 m)
- la portance (vérifiée à l'essai à la plaque).

Dans le cas des fondations traitées au ciment **ou au LHR**, les essais à la plaque sont effectués au plus tard dans les 2 heures qui suivent la mise en œuvre. Aux endroits où la portance imposée n'est pas atteinte, la fondation est rectifiée en accord avec le fonctionnaire dirigeant ou son délégué.

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.9.4.2. CONTROLES APRES EXECUTION

Les niveaux de surface sont vérifiés par mesurages topographiques.

Lorsque les niveaux réalisés ne correspondent pas aux niveaux prescrits ou lorsque les tolérances locales sont dépassées,

- **la dans le cas d'une** fondation non traitée au ciment **ou au LHR**, **cette fondation** est rectifiée et recompactée.
- dans le cas de fondation traitée au ciment **ou au LHR**, la fondation est rectifiée en accord avec le fonctionnaire dirigeant.
- en cas d'apport de matériaux, la fondation est scarifiée sur une profondeur minimale de 6 cm avant le recompactage.
- la régularité de surface est contrôlée à la règle de 3 m. Aux endroits où la tolérance est dépassée, la fondation est rectifiée comme défini ci-dessus pour les niveaux de surface.
- lorsque l'épaisseur n'est pas contrôlée en permanence durant l'exécution, un contrôle après exécution de l'épaisseur de la fondation est effectué par sondages en des endroits choisis aléatoirement sur chantier. Cet essai est effectué au plus tard dans les 24 heures qui suivent la mise en œuvre des fondations.

(d'application à partir du 01/01/2023)

F. 4.9.5. PAIEMENT

La fourniture et la mise en œuvre des produits de scalpage traités sont payées au m³.

F. 4.10. FONDATION EN GRAVE-BITUME

F. 4.10.1. DESCRIPTION

La grave-bitume est composée soit d'un mélange à chaud de gravillons, de sables, de filler et de bitume, soit d'un mélange à chaud de graves et de bitume.

F. 4.10.2. CLAUSES TECHNIQUES

Les clauses techniques du chapitre **G. 2** relatives à l'AC-20 base3-1 (dans le cas d'une grave-bitume 0/20) ou à l'AC-14 base3-1 (dans le cas d'une grave-bitume 0/14) sont d'application, si elles ne sont pas modifiées ou complétées par les prescriptions ci-dessous.

F. 4.10.2.1. MATERIAUX

Les matériaux répondent aux prescriptions du chapitre C les concernant:

- sables: [C. 3.4.6.](#)
- pierres: [C. 4.4.5.](#)
- graves: [C. 5.4.4.](#)
- filler: [C. 11.](#)
- bitume: [C. 12.1.](#)

F. 4.10.2.2. DENOMINATIONS ET COMPOSITIONS TYPES

Type	GB-20-1	GB-14-1
Granularité	0/20	0/14
Enveloppe de granularité	(1)	
Type de liant	x (2)	
Teneur minimum en liant (%)	3,8	4,0
Epaisseur nominale (cm)	10 à 15	8 à 12

(1) Enveloppe de granularité.

La granularité de la formule de la grave-bitume se situe dans les fourchettes figurant au tableau ci-dessous:

Tamis (mm)	Passant au tamis (% en masse)	
	GB-20-1	GB-14-1
31,5	100	-
20	85 - 99	100
14	-	85 - 99
6,3	50 - 80	50 - 80
2	25 - 35	25 - 35
0,25	5 - 15	5 - 15
0,063	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5

(2) La valeur de x définit le type de liant utilisé. Celui-ci est fixé par les documents du marché de façon à satisfaire aux critères performantiels, et notamment aux prescriptions relatives à l'essai au simulateur de trafic (F.4.10.2.3.3).

x = 1 désigne un bitume routier 35/50 ou 50/70 conforme aux prescriptions du [C. 12.1.](#)

La grave-bitume peut contenir des agrégats d'enrobés bitumineux.

Les agrégats d'enrobés bitumineux sont conformes aux prescriptions du [C. 5.3.2.](#)

Le taux de recyclage (masse des agrégats d'enrobés bitumineux par rapport à la masse totale du produit) ne dépasse pas les valeurs suivantes:

	Recyclage à froid	Recyclage à chaud
	Tous réseaux	Tous réseaux
Grave-bitume	≤ 10	≤ 20 (1)

Dans le cas d'utilisation d'AEB homogènes suivant les prescriptions et les fréquences du [C. 5.3.2.](#), la proportion maximale en cas de recyclage à chaud peut être portée à 50 % si les conditions suivantes sont respectées:

Cas A - Dans le cas d'incorporation d'un AEB déjà stocké et identifié sur le site de production:

- 15 jours avant le début du chantier, transmettre une fiche d'identification du tas de AEB qui va être utilisé; cette fiche comprend l'identification du tas, les caractéristiques (granularité, teneur en liant et pénétration du liant récupéré), ainsi que les résultats statistiques de ces essais. Ce délai de 15 jours est défini pour permettre au pouvoir adjudicateur de venir prélever s'il le souhaite et ainsi vérifier les valeurs annoncées par le producteur. De plus, la déclaration du tas, permet également au pouvoir adjudicateur de venir vérifier lors de la production que le tas utilisé est bien le tas déclaré
- s'assurer que la centrale d'enrobage est équipée d'un tambour parallèle ou ligne de recyclage équivalente.

Cas B - Dans le cas d'incorporation d'un AEB issu du chantier concerné:

- l'entrepreneur introduit le même dossier que dans le cas de stock existant, mais au départ de mesures faites sur carottes prélevées (à charge de l'entrepreneur) avec l'accord du fonctionnaire dirigeant.
- s'assurer que la centrale d'enrobage est équipée d'un tambour parallèle ou ligne de recyclage équivalente.

F. 4.10.2.3. SPECIFICATIONS DE LA GRAVE-BITUME

F. 4.10.2.3.1. POURCENTAGE DE VIDES MINIMUM DE LA GRAVE-BITUME

Type	Réseau					
	I		II		III	
	Prescription	Catégorie	Prescription	Catégorie	Prescription	Catégorie
GB-20-1	4,0	V _{min4}	2,5	V _{min2,5}	2,5	V _{min2,5}
GB-14-1	5,0	V _{min5}	3,5	V _{min3,5}	3,5	V _{min3,5}

F. 4.10.2.3.2. POURCENTAGES DE VIDES MAXIMUM DE LA GRAVE-BITUME

Type	Réseau					
	I		II		III	
	Prescription	Catégorie	Prescription	Catégorie	Prescription	Catégorie
GB-20-1	9,0	V _{max9}	10,0	V _{max10}	11,0	V _{max11}
GB-14-1	10,0	V _{max10}	11,0	V _{max11}	12,0	V _{max12}

Les pourcentages de vides (minimum et maximum) sont mesurés sur éprouvette de 10 cm de diamètre pour les GB-14 et de 15 cm de diamètre pour les GB-20-1 fabriquées au moyen du compacteur giratoire.

La courbe des vides est mesurée de 0 à 200 girations.

Les prescriptions sont satisfaites à 100 girations pour les GB-14-1 et à 120 girations pour les GB-20-1.

F. 4.10.2.3.3. RESISTANCE AUX DEFORMATIONS PERMANENTES

Type	Epaisseur (mm)	Profondeur maximale d'ornièrè (%)					
		Réseau I T > 2000		Réseaux I et II T < 2000		Réseau III	
		Prescription	Catégorie	Prescription	Catégorie	Prescription	Catégorie
GB-20-1	100	7,5	P _{7,5}	10,0	P ₁₀	NR ⁽¹⁾	P _{NR}
GB-14-1	100	7,5	P _{7,5}	10,0	P ₁₀	NR	P _{NR}

(1) NR: No Requirement (aucune exigence fixée)

F. 4.10.2.3.4. SENSIBILITE A L'EAU (ITSR)

Type	Rapport minimal de résistance en traction indirecte (%)	Catégorie ITSR
GB-20-1	50	ITSR ₅₀
GB-14-1	50	ITSR ₅₀

F. 4.10.2.4. ETUDE PRELIMINAIRE

Les prescriptions du [G. 2.2.4.](#), du [G. 2.2.5.](#) et du [G. 2.2.6.](#) sont d'application.

F. 4.10.2.5. FABRICATION

Les prescriptions du [G. 2.2.7.](#) sont d'application.

F. 4.10.2.6. MISE EN OEUVRE

Les prescriptions du [G. 2.2.8.](#) sont d'application, à l'exception du [G. 2.2.8.9.](#) (traitement de surface).

F. 4.10.3. SPECIFICATIONS**F. 4.10.3.1. EXIGENCES SUR CHANTIER CONCERNANT LES SPECIFICATIONS DE LA GRAVE-BITUME**

Les spécifications du [G. 2.3.1.](#) relatives aux enrobés à squelette sableux (AC) 0/20 et 0/14 sont respectivement d'application pour les GB-20-1 et les GB-14-1.

F. 4.10.3.2. EXIGENCES CONCERNANT LA MISE EN OEUVRE DE LA GRAVE-BITUME

Les spécifications du [G. 2.3.2](#) relatives aux enrobés à squelette sableux (AC) sont d'application. Dans le cas où la portance de la sous-fondation n'atteint pas 70 Mpa, les prescriptions concernant la compacité relative et le pourcentage de vides ne sont mesurées que sur les 6 cm supérieurs de la grave-bitume

F. 4.10.3.3. MESURE DE LA REGULARITE DE SURFACE

Les spécifications du [G. 2.3.3.2.](#) sont d'application.

F. 4.10.4. VERIFICATIONS

Les spécifications du [G. 2.4.](#) sont d'application.

F. 4.10.5. PAIEMENT

Les spécifications du [G. 2.5.](#) sont d'application, à l'exception des paragraphes [G. 2.5.2.5.](#) à [G. 2.5.2.10.](#)